



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

소방무선대역을 포함한 인빌딩용 이동통신  
중계기 안테나 설계

Design for In-buiding Repeating Antenna Included Fire-Fighting  
Wireless Frequency Band



지도교수 민 경 식

2016 년 6월

한국해양대학교 대학원

전파공학과

김성민

# 목 차

List of Tables .....	ii
List of Figures .....	iii
Abstract .....	v
<b>1. 서 론</b>	
1.1 연구배경 및 필요성 .....	1
1.1.1 인빌딩 통합형 중계기의 필요성 .....	1
1.1.2 소방무선대역의 필요성 .....	3
1.1.3 여러 가지 중계기 안테나 예시 .....	4
<b>2. 다중대역 다이폴 안테나 설계</b>	
2.1 안테나 설계 .....	11
2.2 안테나 제작 및 설계 .....	21
2.3 결과분석 .....	24
<b>3. 기생소자를 가지는 모노폴 안테나 설계</b>	
3.1 안테나 설계 .....	25
3.2 안테나 제작 및 설계 .....	38
3.3 결과분석 .....	44
<b>4. 십자형 디스콘 안테나 설계</b>	
4.1 안테나 설계 .....	45
4.2 안테나 제작 및 설계 .....	52
4.3 결과분석 .....	59
<b>5. 결론</b> .....	60
<b>참고문헌</b> .....	61
<b>Publications</b> .....	63

## List of Tables

Table 2.1	Design parameters of proposed antenna .....	18
Table 2.2	Comparison between simulated and measured gain .....	23
Table 4.1	Comparison between simulated and measured gain .....	58



## List of Figures

Fig. 1.1 Overlapping investment repeater in building (LGU+, KT, SKT) .....	2
Fig. 1.2 Configuration of antenna combination .....	2
Fig. 1.3 Example of high-rise building fire .....	3
Fig. 1.4 Yagi-Uda antenna .....	4
Fig. 1.5 Planar antenna .....	5
Fig. 1.6 Biconical antenna .....	6
Fig. 1.7 Discone antenna .....	7
Fig. 1.8 Monopole antenna .....	8
Fig. 1.9 Horn antenna .....	9
Fig. 1.10 Radiax cable .....	10
Fig. 2.1 Base biconical and pole antenna .....	11
Fig. 2.2 Base biconical and pole antenna current flow .....	12
Fig. 2.3 Antenna structure with variation of .....	13
Fig. 2.4 Simulated reflection coefficients as a function of variation of $L_1$ .....	13
Fig. 2.5 Antenna structure with variation of $L_2$ .....	14
Fig. 2.6 Simulated reflection coefficients as a function of variation of $L_2$ .....	15
Fig. 2.7 Antenna structure with variation of pole .....	15
Fig. 2.8 Simulated reflection coefficients as a function of variation of pole .....	16
Fig. 2.9 Antenna structure with variation of $L_3$ .....	17
Fig. 2.10 Simulated reflection coefficients as a function of variation of $L_3$ .....	17
Fig. 2.11 Simulated reflection coefficients as a function of variation of $L_2$ .....	18
Fig. 2.12 Structure of designed antenna .....	19
Fig. 2.13 Simulated 2-D radiation pattern of design antenna .....	20
Fig. 2.14 Photograph of fabricated antenna .....	21
Fig. 2.15 Simulated 2-D radiation pattern of design antenna .....	21
Fig. 2.16 Simulated and measured 2-D radiation pattern of design antenna .....	22
Fig. 3.1 Monopole and parasitic pole antenna design .....	25
Fig. 3.2 Antenna structure with variation of $L_1$ .....	27
Fig. 3.3 Simulated reflection coefficients as a function of variation of $L_1$ .....	27
Fig. 3.4 Antenna structure with variation of $W_1$ .....	28
Fig. 3.5 Simulated reflection coefficients as a function of variation of $W_1$ .....	28
Fig. 3.6 Antenna structure with variation of $L_2$ .....	29

Fig. 3.7	Simulated reflection coefficients as a function of variation of	29
Fig. 3.8	Antenna structure with variation of $D_2$ and $L_3$	30
Fig. 3.9	Simulated reflection coefficients as a function of variation of $D_2$ and $L_3$	30
Fig. 3.10	Simulated reflection coefficients as a function of variation a PPB	31
Fig. 3.11	Antenna structure with variation of $D_3$ and $L_4$	32
Fig. 3.12	Simulated reflection coefficients as a function of variation of $D_3$ and $L_4$	32
Fig. 3.13	Antenna structure with variation of $D_4$ and $L_5$	34
Fig. 3.14	Simulated reflection coefficients as a function of variation of $D_4$ and $L_5$	34
Fig. 3.15	Varied position of parasitic pole element by angle expression	35
Fig. 3.16	Simulated reflection coefficients as function of parasitic element degree	35
Fig. 3.17	Structure of designed antenna	36
Fig. 3.18	Simulated reflection coefficients of a designed antenna	37
Fig. 3.19	Simulated current distribution at each resonance frequency	38
Fig. 3.20	Photograph of fabricated antenna	40
Fig. 3.21	Simulated measured reflection coefficients of design antenna	41
Fig. 3.22	Simulated and measured 2-D radiation pattern of design antenna	42
Fig. 3.23	Simulated and measured gain of design antenna	43
Fig. 4.1	3-D view of proposed discone antenna	45
Fig. 4.2	Parameters of base discone antenna	46
Fig. 4.3	Feeder structure of designed antenna	47
Fig. 4.4	Simulated reflection coefficients as a function of variation of $H_2$	48
Fig. 4.5	Simulated reflection coefficients as a function of variation of $W_5$	49
Fig. 4.6	Simulated reflection coefficients as a function of variation of $H_3$	49
Fig. 4.7	Simulated reflection coefficients as a function of variation of $W_2$	50
Fig. 4.8	Simulated reflection coefficients as a function of variation of $W_3$	50
Fig. 4.9	Simulated reflection coefficients as a function of variation of $H_4$	51
Fig. 4.10	Simulated reflection coefficients as a function of variation of $W_4$	51
Fig. 4.11	Photograph of fabricated antenna	52
Fig. 4.12	Simulated measured reflection coefficients of design antenna	53
Fig. 4.13	Simulated and measured 2-D radiation pattern of design antenna (X-Z)	54
Fig. 4.14	Simulated and measured 2-D radiation pattern of design antenna (Y-Z)	55
Fig. 4.15	Simulated and measured 2-D radiation pattern of design antenna (X-Y)	56
Fig. 4.16	Simulated and measured gain of design antenna	57

# Design for In-building Repeating Antenna Included Fire-fighting Wireless Frequency Band

Kim, Sung Min

Department of Radio Communication Engineering  
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

## Abstract

Communications infrastructure being built for a variety of mobile communication services such as MIMO, Wi-Fi, 4G, etc. However, inside buildings or offshore plant structure have problems of propagation blind region. In addition, propagation environment of fire safety of fire-fighting also have same problem. Especially high-rise buildings should be supported within the fire-fighting radio services in recent years. So, In this thesis, proposed in-building repeating antenna included fire-fighting wireless frequency band design.

In Chapter 1, research background and necessity were presented. Why designed integrated In-building repeater antennas included fire-fighting band. Antenna used for the repeater.

In Chapter 2, multi-band antenna by multipole were presented. Antenna were designed biconical upon dipole to reduce size. To realize multiband resonant characteristic, same size dipoles are considered. Designed antenna have resonance fire-fighting band, repeater band and Wi-Fi band. Measurement results of proposed antenna has a good agreement.

In Chapter 3, monopole antenna have directional radiation pattern were presented. 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 multiband resonance. Measurement results of reflection coefficients, bandwidth, 2-D radiation pattern and gain are agreed well with their Simulation results.

In Chapter 4, cross-discone antenna were presented. discone antenna were tried to obtain a broadband frequency. The conclusion of this thesis was summarized in chapter 5.

**KEY WORDS:** Fire-fighting Wireless Frequency 소방무선주파수, Inbuilding Repeating Antenna 인빌딩 중계기 안테나, Monopole Antenna 모노폴 안테나, Dipole Antenna 다이폴 안테나 , Discone Antenna 디스콘 안테나

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구 배경 및 필요성

### 1.1.1 인빌딩용 통합형 중계기의 필요성

국내외적으로 MIMO (Multiple-Input Multiple-Output), Wi-Fi (Wireless Fidelity), 4G (4th Generation Mobile Communication Systems) 등 다양한 이동통신 서비스를 제공하기 위한 많은 통신 인프라가 구축되어 있다[1][2]. 하지만 통신 환경적 측면에서 옥외에서의 이동통신서비스가 원활하게 이루어지고 있는 반면, 건물의 지하나 건물 내부 또는 해양플랜트 구조물과 같은 전파음영지역이 발생하는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해서 인빌딩 안테나들이 연구되어 왔다.

특히, 건물의 내부에서는 다양한 무선통신 서비스를 제공하기 위한 전기통신 설비를 설치할 수 있는 공간 부족 등의 문제를 가지고 있다. 다양한 통신사들이 자신의 통신사의 주파수대역만 사용한 중계기를 설치함으로써 시설물 관리의 효율성이 낮고, 추가로 중계기의 설치가 어렵고, 불필요한 자원의 낭비 등 여러 가지 문제가 발생된다. 이를 해결하기 위해서 미국에서는 지역별로 다양한 통신사가 있지만, 다양한 주파수가 연동이 되도록 기술방식과 시설이 이루어져 있고, 일본의 경우에는 이동통신기반 정비협회에서 공동구축에 대한 논의가 이루어지고 있다. 하지만 한국에서는 여러 가지 시도를 하고 있지만, 아직까지 명확한 해결법이 나오지 않았다.

따라서, 본 논문은 이러한 국내의 건축물내의 공동설비에 대한 문제점을 개선하기 위해서 국내 주요 통신사인 LGU+, KT, SKT에서 사용하는 중계기 주파수 대역과 Wi-Fi 대역을 만족하는 통합형 안테나의 설계를 연구하였다. 건물 내에 중복 설치되어 있는 사진을 그림 1.1에서 나타내었고, 그림 1.2에서는 통합형 안테나의 구상도를 나타내었다.

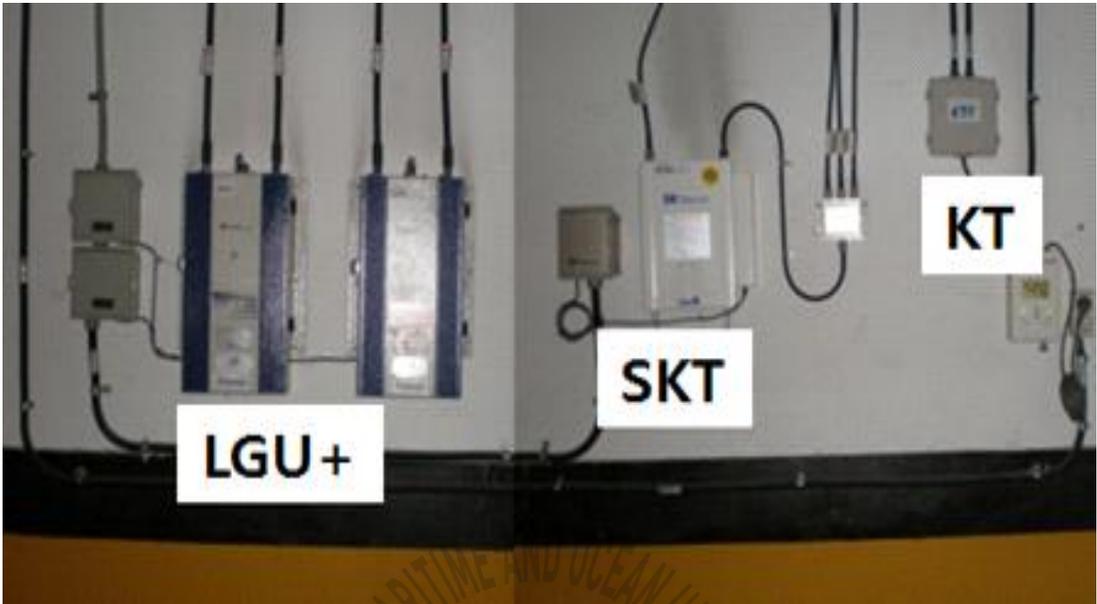


Fig. 1.1 Overlapping investment repeater in building (LGU+, KT, SKT).

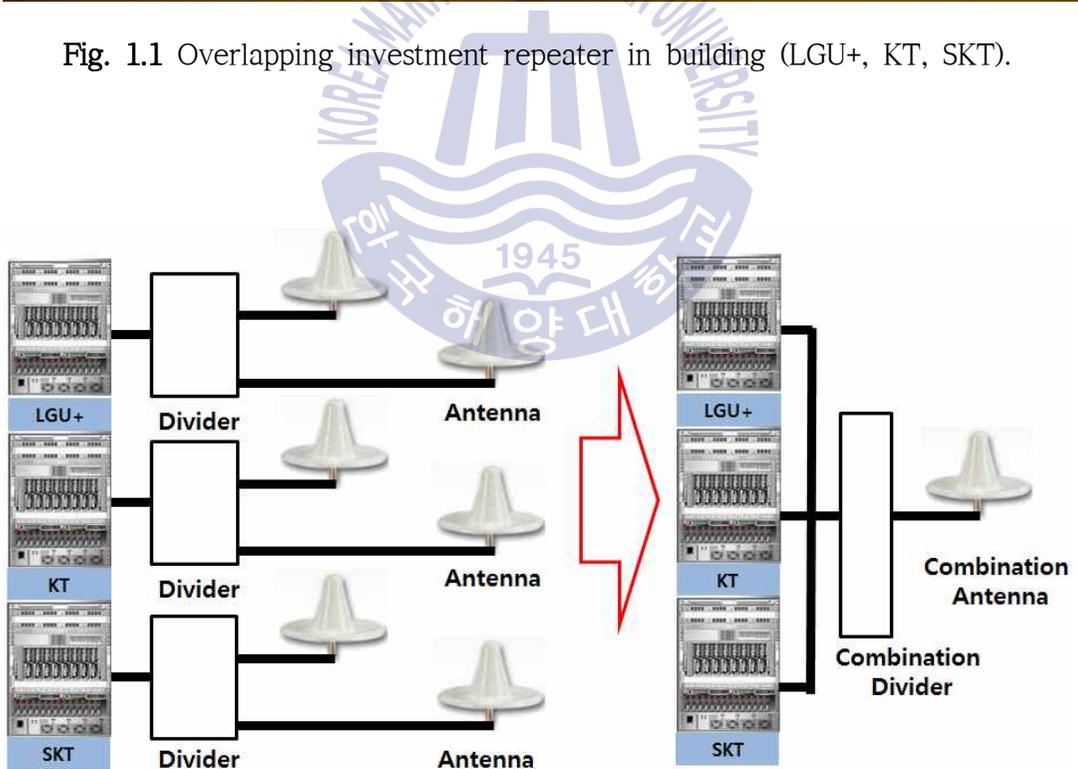


Fig. 1.2 Configuration of antenna combination.

### 1.1.2 소방무선대역의 필요성

2010년 10월 1일 부산 골든 스위트 아파트에서 화재가 발생하였고, 인명피해 5명 (소방관 1명)과 약 54억 9천만 원의 재산피해가 발생하였다[3]. 화재가 크게 발생한 원인의 분석으로 소방무선설비의 부족, 인화성이 강한 외장재 등이 있었다. 소방무선설비가 잘 되어 있었다면, 인명과 재산피해가 많이 줄어들었을 것이다. 이 후 고층건물 내에서 화재의 위험을 줄이기 위해 2013년 2월부터 소방무선서비스의 의무화 법규가 실행되었다[4]. 이후에 건설되는 모든 건물의 16층 이상에는 소방무선서비스가 꼭 필요하다.

특히 소방무선서비스의 대역인 440~450 MHz의 체배주파수가 중계기 안테나의 LTE (Long-Term Evolution) 대역 (890~960 MHz)에 해당하기 때문에 중계기 대역의 안테나의 설계가 용이하고 좋은 특성을 얻기가 쉽다. 따라서 소방무선 대역을 포함하는 중계기 안테나의 설계 및 연구가 필요한 실정이다.



Fig. 1.3 Example of high-rise building fire.

### 1.1.3 여러 가지 중계기 안테나 예시

이 장에서는 소방무선을 포함하는 중계기 안테나를 설계하기 위하여 중계기로 사용되는 여러 가지 안테나에 대해 설명하였다[5-8].

#### ① 야기-우다 안테나[9]

일반적으로 도파기, 반사기, 안테나부분을 가지는 안테나이다. 3가지 야기 안테나에서 최대 9 dBi의 높은 이득을 얻을 수 있다. 하지만 도파기와 의 간격이  $0.2 \lambda$ 가 필요하고 단일대역을 가지기 때문에 중계기에 사용하기 부적절하다. 주로 높은 지향성이 요구되는 터널 등에서 널리 사용된다.

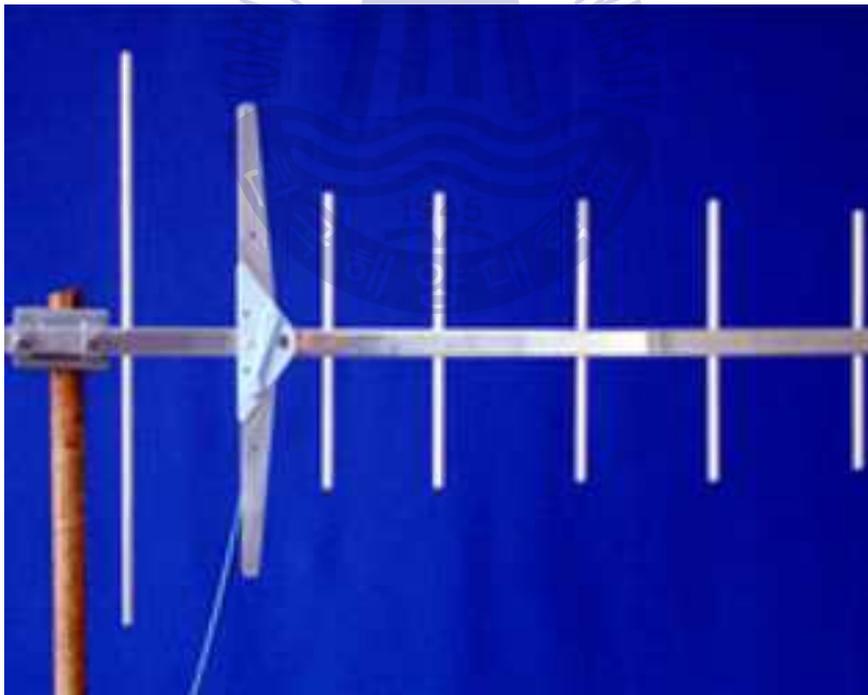


Fig. 1.4 Yagi-Uda antenna.

## ② 평면형 안테나

유전체 기판과 구리를 사용한 평면구조를 가지는 안테나이다. 일반적으로 안테나가 동작하기 위해 파장의  $0.5 \lambda$ 의 이상의 길이가 필요하나 선로의 길이를 미앤더 라인 등의 방법을 이용하여 더 작은 크기로 제작이 가능하다. 따라서 소형의 크기를 가지며, 가볍고, 제작 가격이 저렴한 장점이 있어 널리 사용된다. 하지만 고주파수와 고전력을 사용 시에 안테나의 특성이 악화되는 단점을 가지고 있다.

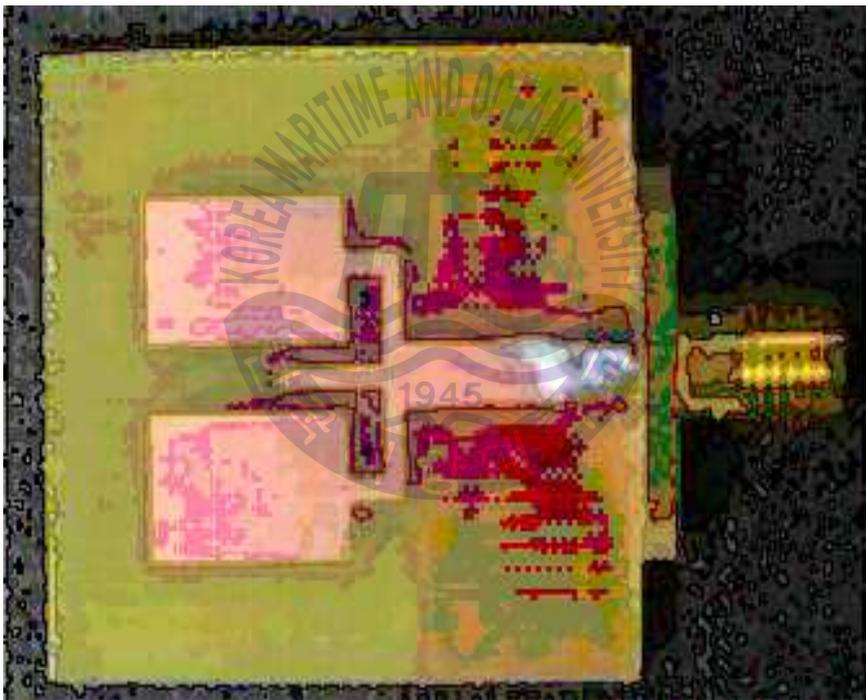


Fig. 1.5 Planar antenna.

### ③ 바이코니컬 안테나

급전부분이 가운데 있으며 양쪽에 원추를 가지는 안테나이다. 원추의 각도를 조절하여 광대역의 대역폭을 얻을 수 있다. 안테나가 동작되기 위해서는 파장의  $0.5 \lambda$ 이 필요하다. 다이폴 안테나와 같은 무지향성 패턴을 가지지만 더 넓은 대역폭을 가진다. 두 원뿔을 종단하여 사용하여 제작이 어렵고 평면형 안테나보다 크기가 큰 단점을 가지고 있다.



Fig. 1.6 Biconical antenna.

#### ④ 디스콘 안테나

평면그라운드와 사다리꼴구조의 원뿔을 가지는 안테나이다. 그라운드의 크기와 원뿔의 대각선의 길이가 안테나의 중심주파수를 결정을 한다. 안테나가 동작되기 위해서 파장의  $0.7 \lambda$ 의 길이가 필요하다. 중심주파수에서 1.5:1 이하의 VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) 을 얻기가 쉬우며, 광대역의 대역폭을 가진다. 전방향성 패턴을 가진다. 원뿔을 사용하여 제작이 어려우며, 평면형 안테나보다 크기가 큰 단점을 가지고 있다.



Fig. 1.7 Discone antenna.

### ⑤ 모노폴 안테나

하나의 원형 막대와 그라운드를 가지는 안테나이다. 안테나가 동작되어지기 위해서 파장의  $0.5 \lambda$ 의 길이가 필요하다. 협대역의 주파수를 가지고 있으며 다이폴과 같은 무지향성 특성을 가지고 있지만 그라운드의 크기가 조절하여 지향성의 특성을 얻을 수 있다. 도체로 이루어져 있어 주파수에 따른 안테나 특성 변화가 적다.



Fig. 1.8 Monopole antenna.

## ⑥ 개구면 안테나

속이 파여 있고, 끝이 점점 작아지는 원형 또는 사각형 구조의 안테나이다. 개구면을 사용하여 높은 지향성과 이득을 가지고 있다. 기준안테나, 레이더와 같은 높은 이득이 필요한 곳에서 사용된다. 안테나가 동작되어 지기위해서 개구면의 크기가 안테나 한 파장이 필요하다. 따라서 저주파수를 사용할 경우 안테나의 크기가 매우 커지는 단점을 가지고 있다.

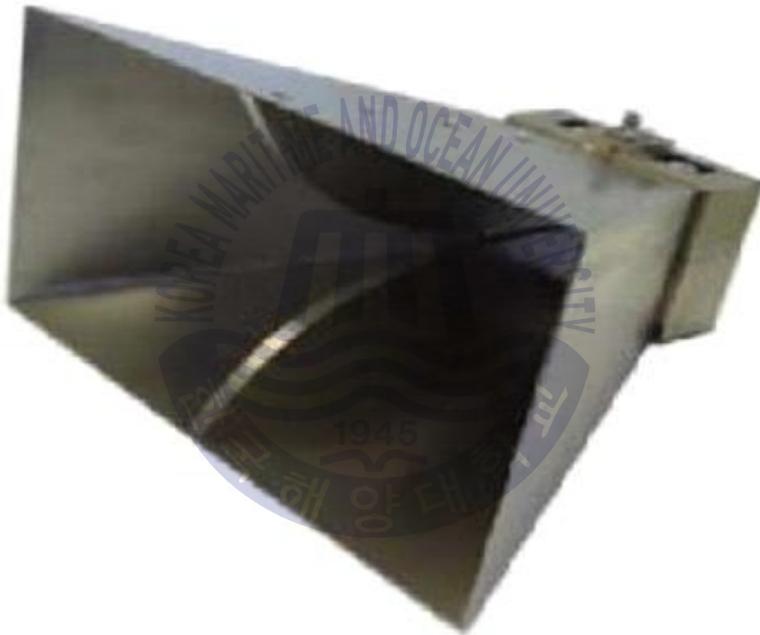


Fig. 1.9 Horn antenna.

⑦ 누설동축케이블[10]

케이블에 슬롯을 두어 수평/수직으로 전파가 누설되어 전송되어지는 방식이다. 누설파로 인해 전파가 전송되어지기 때문에 복사공간이 좁은 환경이 적절하고, 발생하는 신호의 세기가 약한 단점을 가지고 있다.

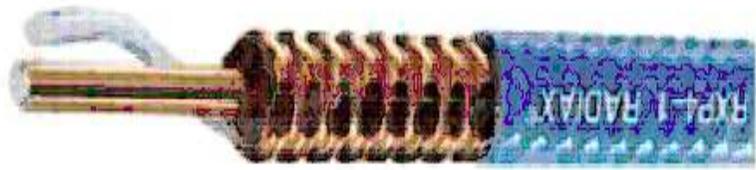


Fig. 1.10 Radiax Cable.

혼 안테나와 야기우다 안테나의 경우에는 이득이 높은 장점을 가지고 있지만, 소방무선 대역을 포함할 경우에는 안테나의 크기가 매우 커지기 때문에 제외를 하였다. 다음으로 누설동축케이블의 경우에는 발생하는 신호의 세기가 약하고, 소방무선주파수, 중계기안테나와 Wi-Fi 대역을 모두 만족하기 어렵기 때문에 제외를 하였다.

따라서, 통합형 안테나로는 평면형 안테나와 바이코니컬 안테나, 모노폴 안테나, 디스콘 안테나가 적합하다고 판단하였다. 여러 가지 후보 중에서 바이코니컬 안테나를 이용할 경우에는 0 dBi 이상의 이득을 얻기가 쉽고, 무지향성의 방사패턴을 가지기 때문에 2장에서 설계방법을 제안하였다. 3장에서는 중계기 안테나가 건물의 천장에 여러 개가 설치되기 때문에 지향성을 특성을 가지며 제어하기가 손쉬운 ESPAR (Electronically Steerable Parasitic Array Radiator) 타입의 모노폴 안테나를 설계를 시도하였다. 4장에서는 2,3장에서 설계한 다중 대역의 안테나는 대역폭이 좁은 단점을 가지고 있어 광대역의 디스콘 안테나의 설계 및 측정하였다.

## 제 2 장 다중대역 다이폴 안테나 설계

### 2.1 안테나 설계

다중대역을 가지는 안테나를 설계하기 위해서 바이코니컬 구조를 결합한 다이폴 안테나의 설계를 고려하였다[11][12]. 일반적인 바이코니컬 안테나로 제작할 경우 광대역의 특성을 가질 수 있지만, 소방무선대역을 포함할 경우 소방무선 안테나의  $0.5 \lambda$ 인 332 mm의 길이가 필요함으로 안테나의 크기가 매우 커진다. 따라서 다중대역을 가지며, 크기가 소형인 다중대역 다이폴 안테나를 설계하였다. 바이코니컬 안테나의 원형평판 위에 폴을 추가하여 소방무선대역, 이동통신 주파수 대역, Wi-Fi 대역에서 공진이 되도록 설계를 하였다. 안테나는 도체만을 이용하여 설계를 하였으며, 바이코니컬과 다이폴 안테나의 경우 0 dBi 이상의 이득과 무지향성의 방사패턴을 가지고 있기 때문에 중계기 안테나로 적절하다고 판단하였다. 안테나의 모의실험은 ANSYS사의 전자계 해석을 위한 상용 툴인 HFSS (High Frequency Structure Simulator)를 사용하였다.

그림 2.1은 기초 설계된 바이코니컬 안테나의 구조이다. 바이코니컬의 평판 위에 지름 6 mm  $\phi$ 의 원형 폴이 설계되어 있는 구조이다.

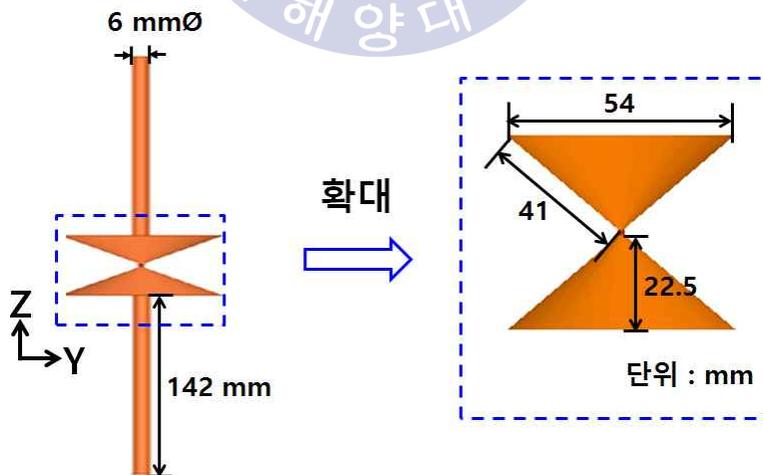


Fig. 2.1 Base biconical and dipole antenna.

그림 2.2는 바이코니컬 안테나의 전류 분포를 나타낸다. 그림에서 보듯이 바이코니컬 안테나의 원형 평판의 가장자리에서 중심으로 전류가 흐른다. 즉 원형 평판위에 다이폴을 설계할 경우에 다이폴이 어디에 있던 전류가 강하게 전달될 수 있는 장점을 가질 수가 있다.

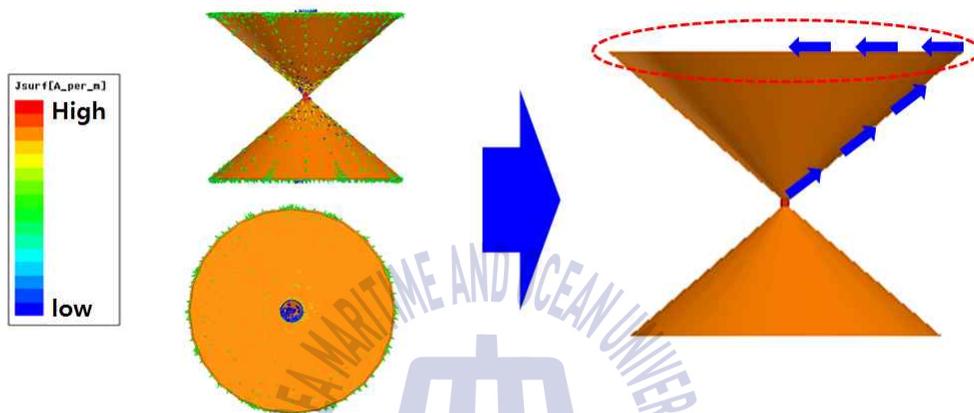


Fig. 2.2 Base biconical and dipole antenna current flow.

그림 2.3은 변수  $L_1$  을 가지는 안테나 구조를 보이고,  $L_1$  길이 변화에 따른 모의실험 결과를 그림 2.4에 보인다.  $L_1$ 이 증가하면 전기적 길이가 증가하여 소방무선 대역에서의 반사계수의 주파수 이동이 되며, 2차, 3차 고주파수 대역인 1,500 MHz와 2,500 MHz에서 주파수 이동과 대역폭의 변화되었다. 높이가 142 mm를 가질 때, 445 MHz에서 공진이 되고 관심대역인 440~450 MHz에서 -10 dB 이하의 반사계수를 얻을 수 있었다. 다음으로 LTE 대역인 819~960 MHz에서 -10 dB 이하의 추가 공진을 얻기 위해서 가장자리에 다이폴을 추가하였다.



Fig. 2.3 Antenna structure with variation of  $L_1$ .

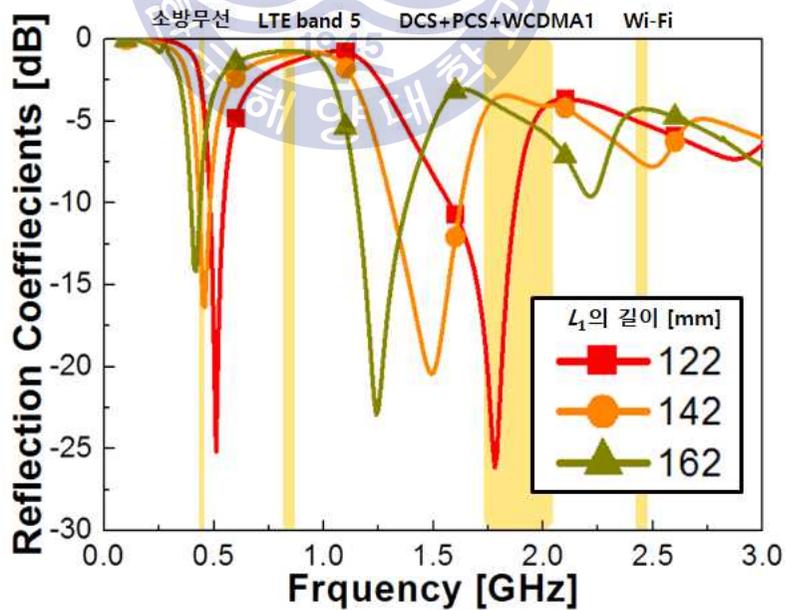


Fig. 2.4 Simulated reflection coefficients as a function of variation of  $L_1$ .

그림 2.5는 를 가지는 안테나 구조를 보이고,  $L_2$  길이 변화에 따른 모의실험 결과를 그림 2.6에 보인다. 그림에서 보면 지름이 2 mm  $\phi$  다이폴을 가장자리에 추가하여 LTE 대역에서 공진이 추가되었다.  $L_2$ 의 길이를 53~73 mm까지 변화를 주었다.  $L_2$ 가 63 mm일 때 중심주파수인 890 MHz에서 공진이 발생하였다.  $L_2$ 의 길이가 변함에 따라서 공진주파수의 이동이 되며, 소방무선주파수와 다른 중계기대역에서의 반사계수에는 영향을 주지는 않았다. 추가된 다이폴의 높이는 LTE 대역의 공진 특성에서만 영향을 주는 것으로 판단된다. 또한 대역폭 확보를 위해 폴의 개수를 추가하였다. 폴의 개수에 따른 안테나 구조를 그림 2.7에 보인다. 폴의 수를 3개, 5개, 6개로 증가시켰으며, 각 다이폴은 일정한 간격을 가지도록 설계하였다.

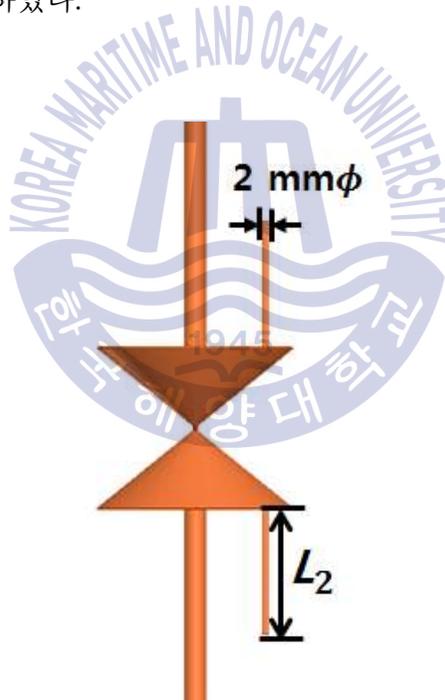


Fig. 2.5 Antenna structure with variation of  $L_2$ .

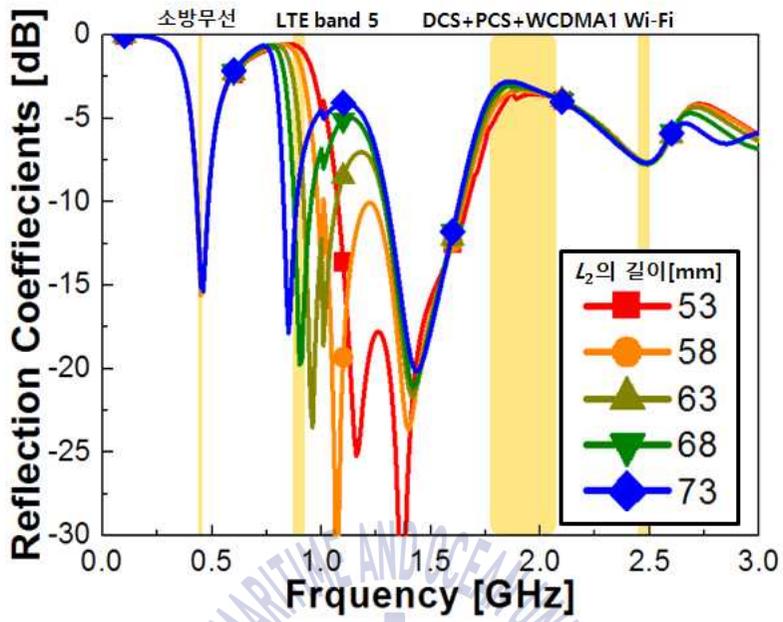


Fig. 2.6 Simulated reflection coefficients as a function of variation of  $L_2$ .

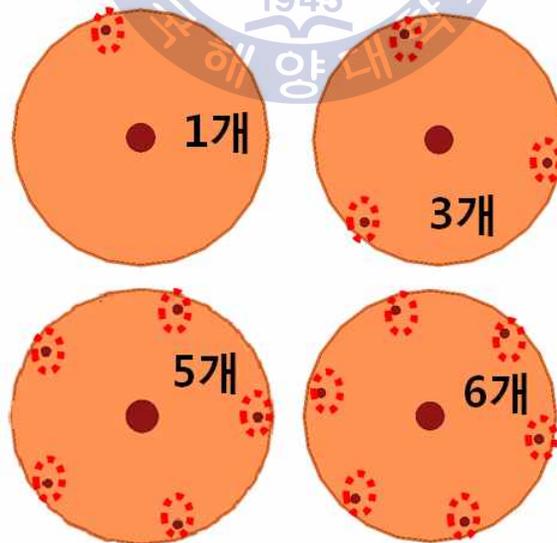


Fig. 2.7 Antenna structure according to pole number.

그림 2.8은 폴 개수에 따른 안테나 공진 특성을 보인다. 그림을 보면 폴이 추가될수록 안테나의 대역폭이 증가됨을 알 수 있다. 이는 동일한 크기를 가지는 소자를 추가함으로써 대역폭과 이득이 증가하는 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 폴의 개수가 증가할수록 대역폭이 증가하다가 5개 이상부터는 동일한 특성을 가진다. 이 결과로부터 안테나의 폴 개수를 5개로 선택하였다.

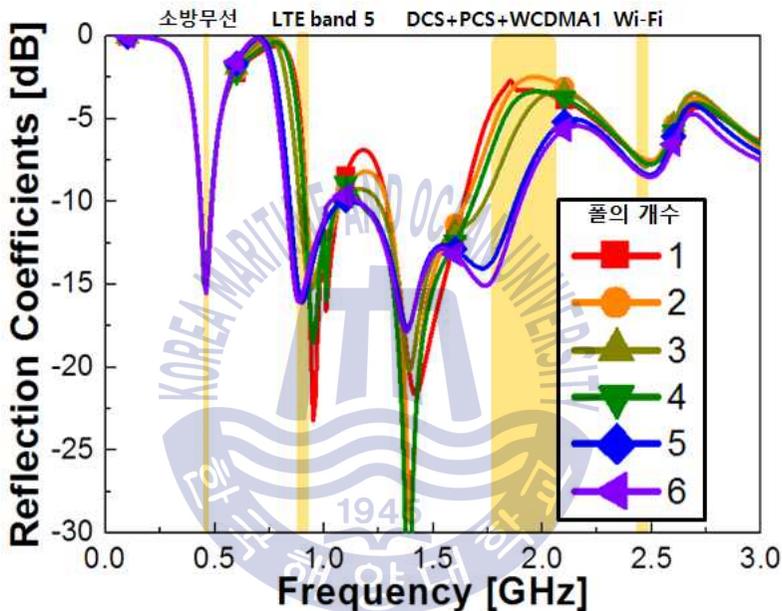


Fig. 2.8 Simulated reflection coefficients as a function according to pole number.

다음으로 WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) 대역을 추가하기 위해 6 mm  $\phi$ 의 지름을 가지는 폴을 가장자리에 추가하는 것을 고려하였다. 추가된 폴의 개수는 LTE 대역에서 동작하는 폴과 마찬가지로 5개의 동일한 폴을 추가하였으며, 그림 2.9에 보인다. 폴을 추가하여 WCDMA에서 동작하는 다중공진을 얻었으며, 그 결과를 그림 2.10에 보인다. 하지만 추가된 폴의 영향으로 LTE 대역에 동작하는 안테나가 고주파수로 이동하는 현상이 발생하였다. 따라서 LTE 대역의 폴의 길이를 보정을 해주었다.

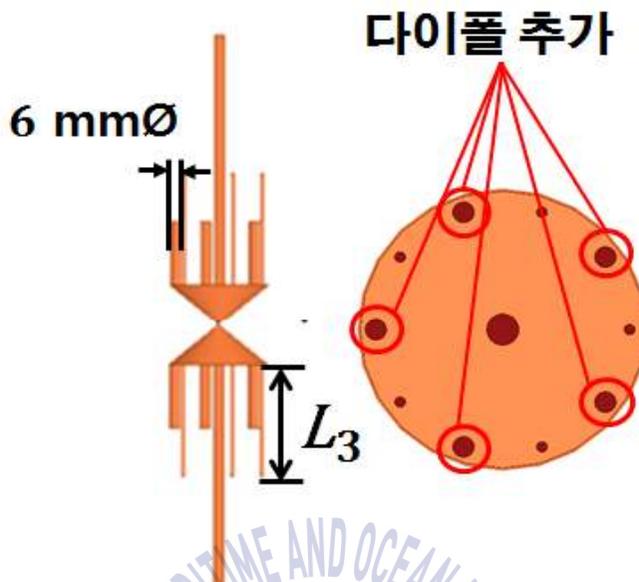


Fig. 2.9 Antenna structure with variation of .

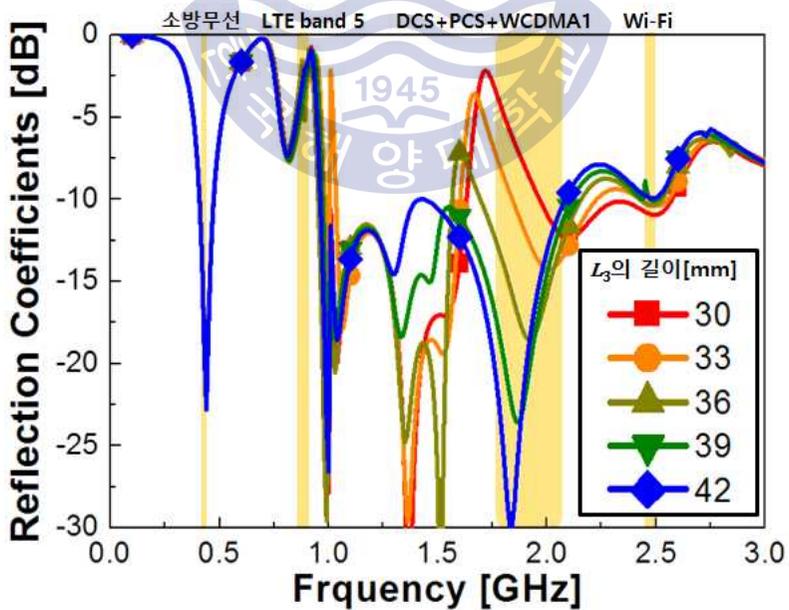


Fig. 2.10 Simulated reflection coefficients as a function of variation of  $L_3$ .

그림 2.11은  $L_2$ 의 길이를 63 mm에서 67 mm로 증가시킨 결과를 보인다. 그림 2.6을 보면  $L_2$ 의 길이는 LTE 대역에서만 영향을 주기 때문에, 다른 대역에서의 주파수의 이동은 거의 없다.

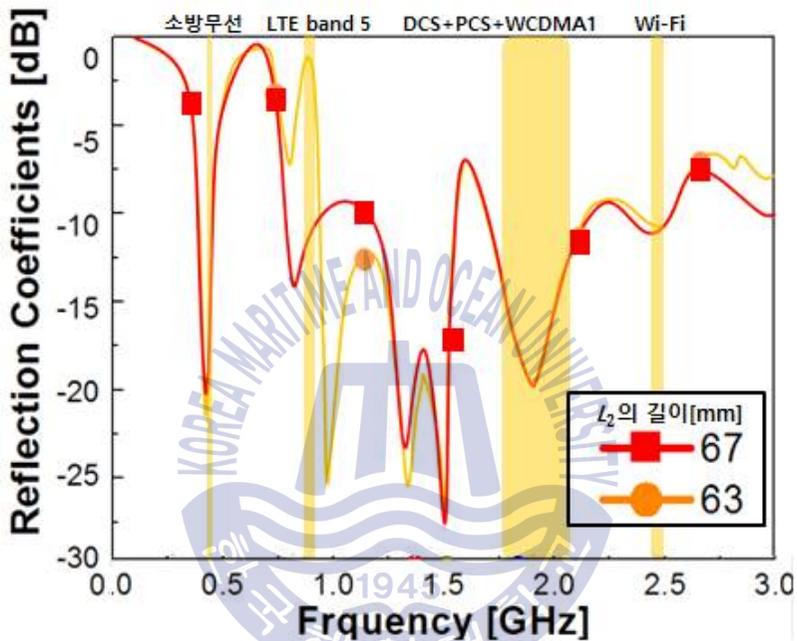


Fig. 2.11 Simulated reflection coefficients as a function of variation of  $L_2$ .

Table. 2.1 Design parameters of proposed antenna.

	높이	지름	개수	영향주파수
중심폴	142 mm	6 mm $\phi$	1	소방대역
LTE 공진 폴	67 mm	2 mm $\phi$	5	LTE
WCDMA 공진 폴	36 mm	6 mm $\phi$	5	WCDMA
바이코니컬	22.5 mm	54 mm $\phi$	2	-

최종 설계된 안테나는 바이코니컬 위에 11개의 다이폴이 있는 구조이다. 중심에는 6 mm  $\phi$ 의 소방무선에 공진하는 다이폴이 있으며 가장자리에 6 mm  $\phi$ 의 WCDMA에서 공진하는 다이폴과 2 mm  $\phi$ 의 LTE에서 공진하는 폴이 각각 5개가 있는 구조이다. 설계된 구조의 제원은 표 2.1에서 나타내었다.

그림 2.12는 최종 설계된 안테나의 구조를 보인다. 소방무선대역에서 공진하는 다이폴은 바이코니컬 평면의 가장 중앙에 위치하고 있다. 이동통신 주파수대역 및 Wi-Fi 대역에서 공진하는 다이폴은 가장 자리에 배치되어 있으며, 각 대역별로 폴의 개수는 5개씩이다.

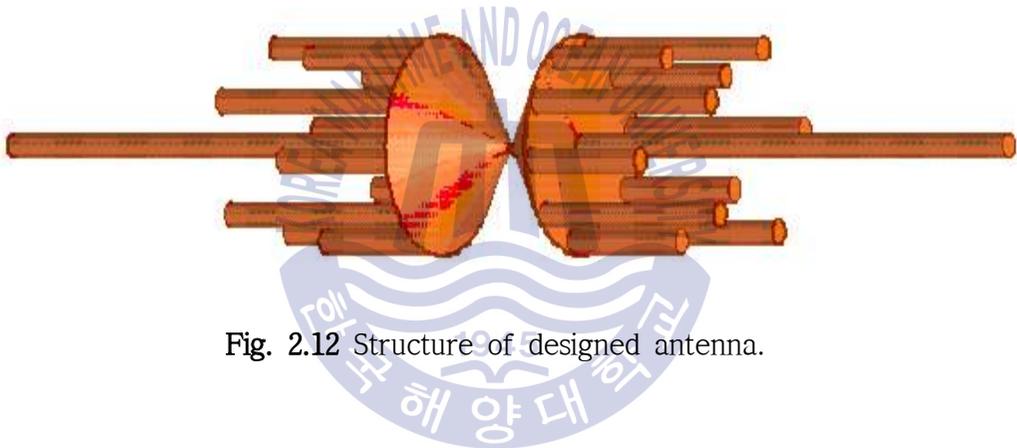
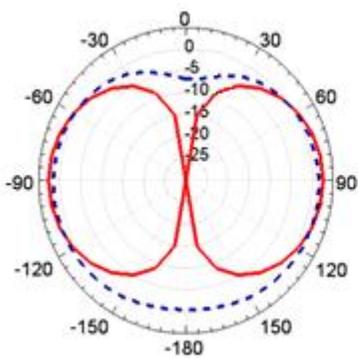
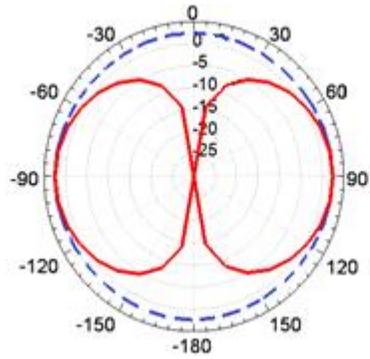


Fig. 2.12 Structure of designed antenna.

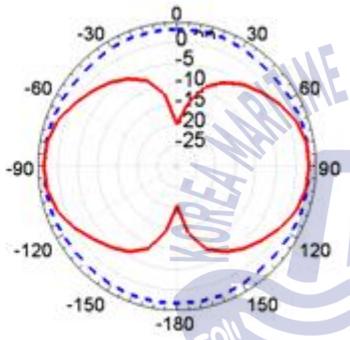
그림 2.13는 최적화된 다중대역 다이폴 안테나의 2-D 모의실험 방사패턴이다. 모든 관심 대역의 중심주파수에서 무지향성의 방사패턴을 가진다. 또한 관심대역의 중심주파수에서 0 dBi 이상의 이득을 가진다. 2,450 MHz에서는  $-150^\circ$ ,  $-90^\circ$ ,  $-30^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $150^\circ$ 에서 높은 이득을 가지는데, 이는 2,450 MHz에서 동작되어지는 폴이 있는 위치기 때문이라고 판단된다.



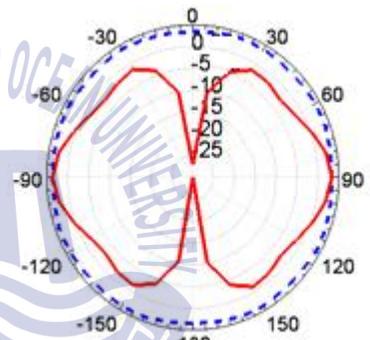
(a) 445 MHz



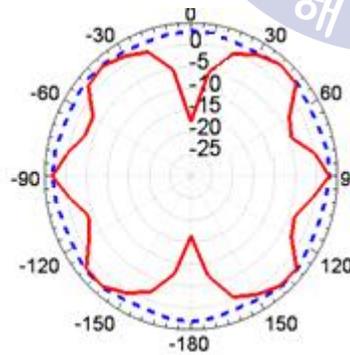
(b) 890 MHz



(c) 1,800 MHz



(d) 2,100 MHz



(e) 2,450 MHz

--- Simulated H-pattern(X-Y)  
 — Simulated E-pattern(X-Z)

Fig. 2.13 Simulated 2-D radiation pattern of design antenna

## 2.2 안테나 제작 및 측정

그림 2.14는 제작한 안테나의 사진을 보이며, 그림 2.15는 설계한 안테나의 모의실험과 측정된 특성을 비교한 그래프이다. 제작한 안테나는 Anritsu사의 VNA (Vector Network Analyzer) 37369D를 사용하여 측정하였다. 모의실험과 측정된 특성은 대체로 잘 일치하였다. 측정된 안테나의 반사계수는 소방무선주파수와 LTE 대역에서는 -10 dB의 값을 얻을 수 있었다.



Fig. 2.14 Photograph of fabricated antenna.

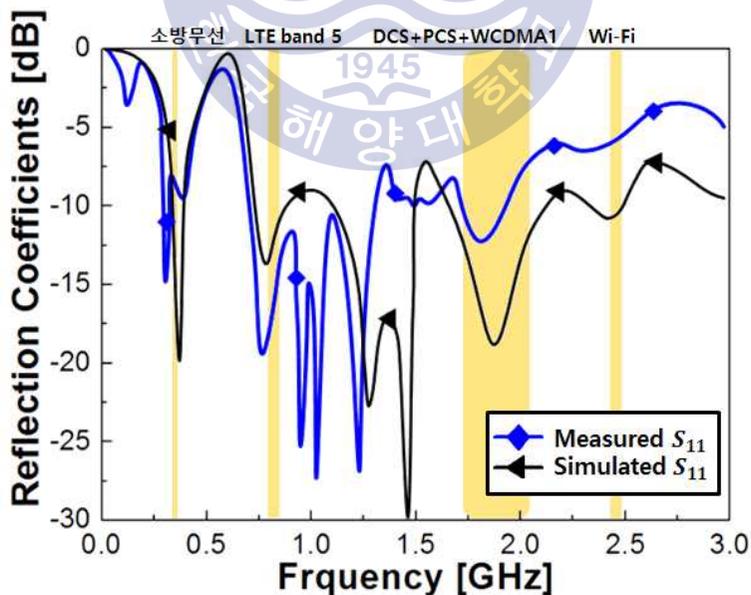


Fig. 2.15 Simulated and measured reflection coefficients of design antenna.

그림 2.16은 제작한 안테나의 방사패턴을 측정 값과 시뮬레이션 값을 비교한 것을 보인다. 측정된 방사패턴 특성이 모의실험 특성보다 조금 낮게 측정되었지만, 대체로 잘 일치되었다. 모든 대역에서 무지향성의 방사패턴을 얻을 수 있었다. 고주파수인 2,450 MHz에서  $-140^{\circ}$ ,  $-90^{\circ}$ ,  $-40^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $140^{\circ}$ 에서 강한 지향성을 가지는 이유는 2,450 MHz에서 동작하는 폴에 의한 영향이라고 판단된다.

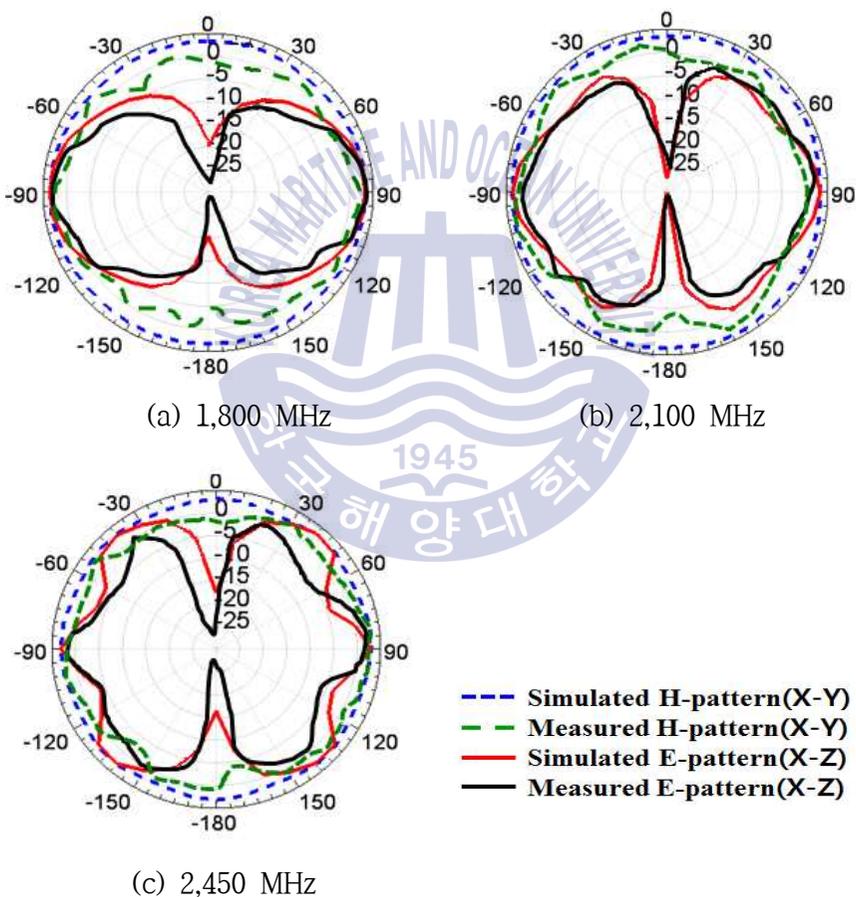
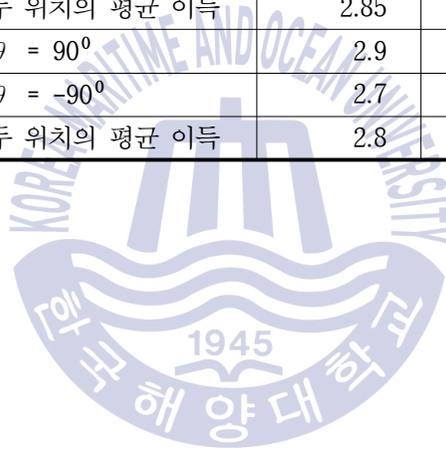


Fig. 2.16 Simulated and measured 2-D radiation pattern of design antenna.

표 2.2는 모의실험과 측정된 이득  $-90^\circ$ 와  $90^\circ$ 에서의 이득을 나타내었으며, 두 위치의 평균 값을 계산하였다. 측정된 이득은 모든 대역에서 1.5 dB 이상의 값을 가지며, 목표이득인 0.5 dB보다 1 dB 이상 높은 값을 얻었다.

**Table. 2.2** Comparison between simulated and measured gain.

		주파수(MHz)		
		1,800	2,100	2,450
모의실험된 이득 (dBi, $\phi=0^\circ$ )	$\theta = 90^\circ$	2.9	2.8	1.3
	$\theta = -90^\circ$	2.8	0.6	0
	두 위치의 평균 이득	2.85	1.7	0.65
측정된 이득 (dBi, $\phi=0^\circ$ )	$\theta = 90^\circ$	2.9	3.0	2.3
	$\theta = -90^\circ$	2.7	2.6	0.8
	두 위치의 평균 이득	2.8	2.8	1.55



## 2.3 결과분석

본 장에서는 소방무선, 이동통신, Wi-Fi 대역에서 동작하는 다중대역 안테나를 설계하기 위해 바이코니컬 구조를 가지는 다이폴 안테나를 제안하였다. 바이코니컬 구조 위에 다이폴 안테나를 배치하여 어느 위치에 다이폴을 두더라도 강한 전류가 흐르도록 설계를 하였다. 또한 여러 개의 다이폴을 이용하여 다중대역 특성을 얻을 수 있었다. 중심에 이는 다이폴에서 소방무선대역을 얻고, 가장자리의 다이폴에서 LTE 대역과 WCDMA 공진의 대역을 얻었다. 동일한 크기를 가지는 다이폴의 개수를 늘려 동작되는 안테나의 대역폭과 이득을 증가시켰다. 제안된 안테나는 무지향 방사패턴을 가지며, 1.5 dBi 이상의 이득을 얻을 수 있었다. 모의실험과 측정 값은 대체로 잘 일치한다.



## 제 3 장 기생소자를 가지는 모노폴 안테나 설계

### 3.1 안테나 설계

지향성을 가지는 중계기용 안테나를 설계하기 위해서 기생소자를 가지는 모노폴 안테나를 고려하였다[13][14]. 중심에 있는 모노폴에서 가장 낮은 대역인 소방무선 주파수 대역에서 단일 급전을 주고 다른 대역은 기생소자를 이용하여 다중공진을 얻도록 설계하였다.

그림 3.1은 설계한 모노폴 안테나의 초기모델을 보인다. 그라운드의 지름은 200 mm  $\phi$ 이며 1 mm의 FR-4 epoxy기판을 사용하였다. 유전체 기판의 복소 유전율( )은  $4.4+j0.04$  이다. 그라운드 위에 10 mm  $\phi$ 의 지름을 가지는 183 mm의 폴이 세워져있는 구조이다. 소방무선대역의 중심주파수인 445 MHz에서 공진이 일어나도록 설계를 하였다.

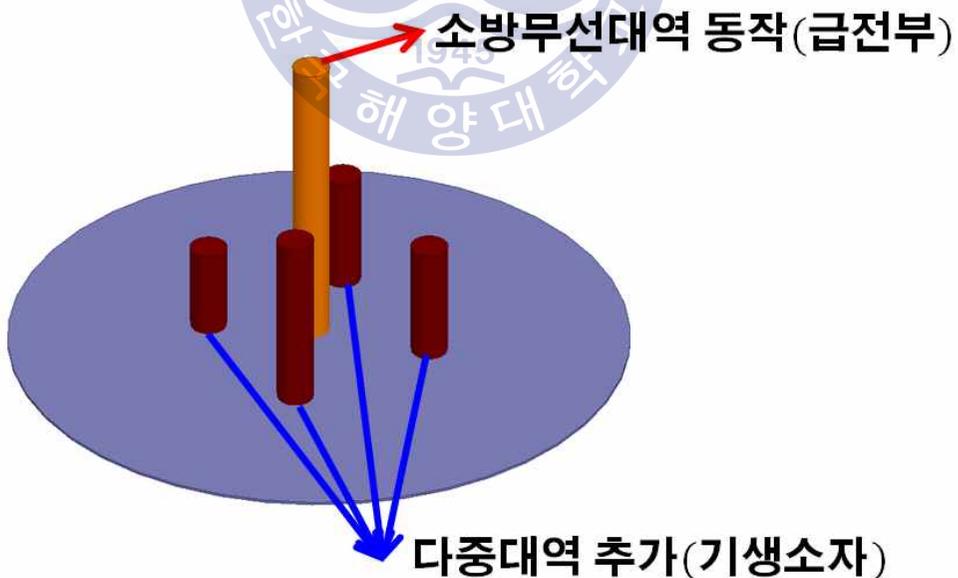


Fig. 3.1 Monopole and parasitic pole antenna design.

그림 3.2는 접지면 위에 중심폴 (Center Pole)이 위치한 구조를 보인다. 소방 무선대역에서 최적 특성을 얻기 위해서 폴의 높이인  $h_1$  값을 변화시켰다.  $L_1$ 이 증가하면 공진점이 저주파수로 이동된다. 이는 폴의 길이가 길어질수록 전기적 길이가 변화되어 인덕턴스의 크기가 증가하기 때문이라 생각된다. CP의 높이가 184 mm를 가질 때 소방무선주파수의 중심주파수인 445 MHz에서 공진을 가지는 최적특성이 되며, 그림 3.3에 보인다.

그림 3.4는 중심폴의 지름인  $W_1$ 의 변화를 확인하기 위한 안테나 구조를 보인다. 지름이 변함에 따라서 공진주파수의 이동은 거의 없고 반사계수의 크기에 영향을 준다.  $W_1$  변화에 따른 반사계수 변화 특성을 그림 3.5에 보인다. 즉 지름은 임피던스의 순저항 값에만 영향을 주는 것으로 판단된다. 특히 지름이 커질수록 소방무선대역의 대역폭이 소폭 증가하는 효과를 얻었다. 지름이 10 mm  $\phi$ 일 때 가장 최적의 특성을 얻었으며, 제작의 용이성을 위해서 중심폴과 기생소자의 지름은 10 mm  $\phi$ 로 통일을 하였다.

그림 3.6은 LTE 대역의 공진을 확보하기 위해서 기생소자 (Parasitic Pole A)를 추가한 구조를 보인다. 그림 3.7은 PPA를 추가하여 다중공진 특성을 얻은 결과를 보인다. PPA의 높이 변화에 따라서 공진주파수의 이동이 일어났다. 이때 소방무선대역에는 영향을 거의 주지 않음을 알 수 있었다.

그림 3.8은 DCS+PCS 대역의 공진을 확보하기 위해서 기생소자 PPB를 추가한 안테나 구조를 보인다. PPB 높이와 CP와의 거리에 따른 특성은 그림 3.9에 보인다. PPB의 높이 변화로만 1,800 MHz에서 -10 dB 이하의 반사계수를 얻지 못하였다. 따라서 CP 사이의 거리와 PPB의 높이를 동시에 조절을 하여 공진을 얻고자 하였다. CP와 PPB의 거리가 CP와 PPB의 거리가 11 mm, CP와 PPB의 거리가 12 mm일 때 -10 dB 이하의 값을 얻을 수 있다. 또한 CP와 PPB 사이의 거리가 10 mm 이하의 경우에는 CP와 기생소가 접하게 된다. 따라서 반드시 기생소자는 10 mm 이상 이격되어야 한다.

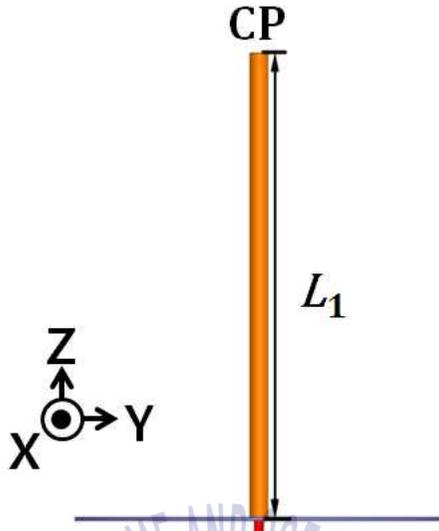


Fig. 3.2 Antenna structure with variation of  $L_1$ .

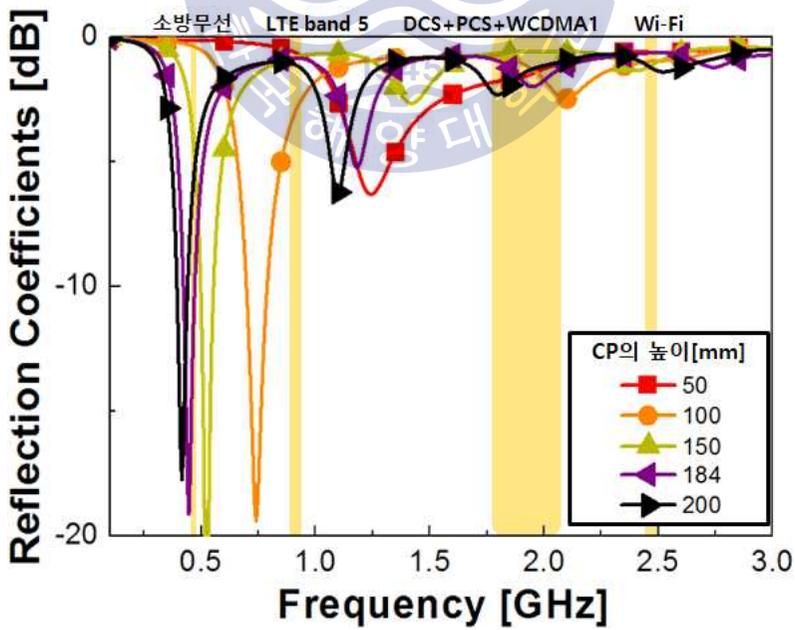


Fig. 3.3 Simulated reflection coefficients as a function of variation of  $L_1$ .

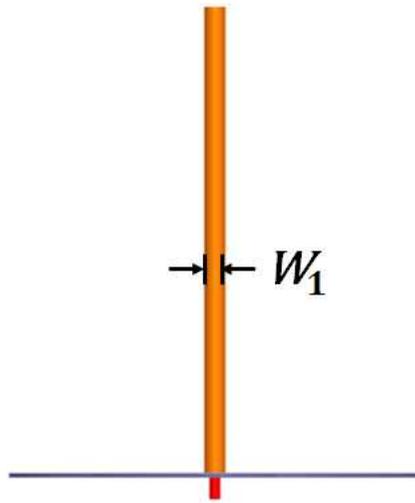


Fig. 3.4 Antenna structure with variation of  $W_1$ .

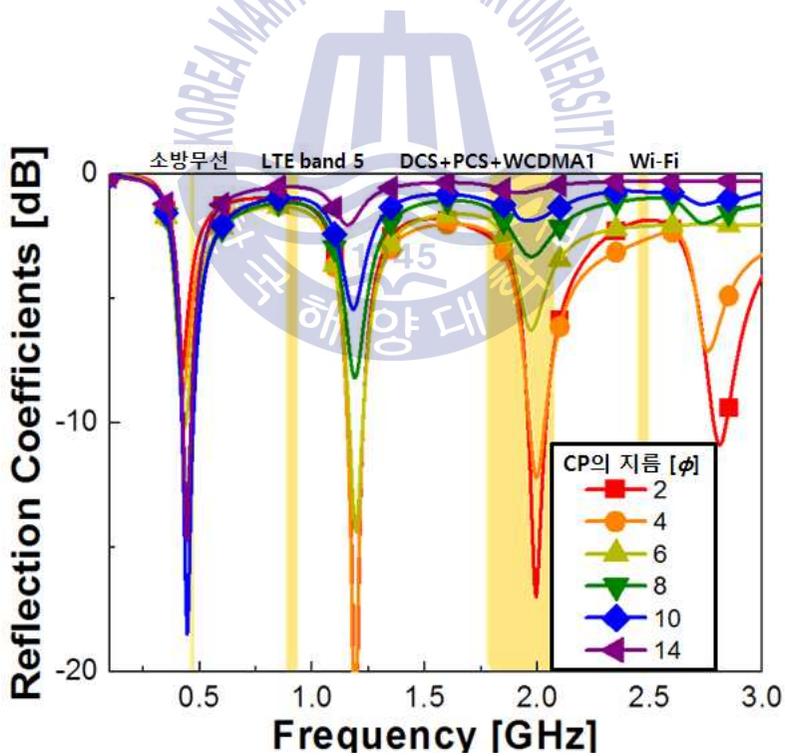


Fig. 3.5 Simulated reflection coefficients as a function of variation of  $W_1$ .

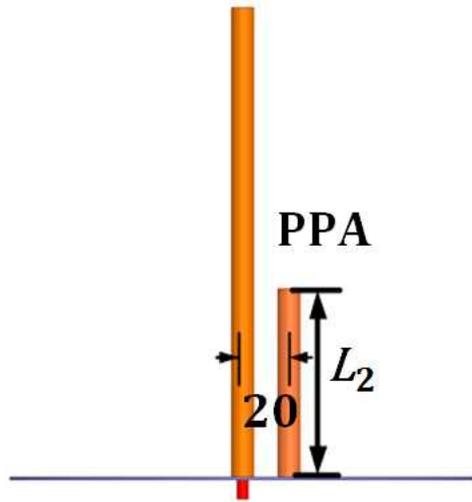


Fig. 3.6 Antenna structure with variation of .

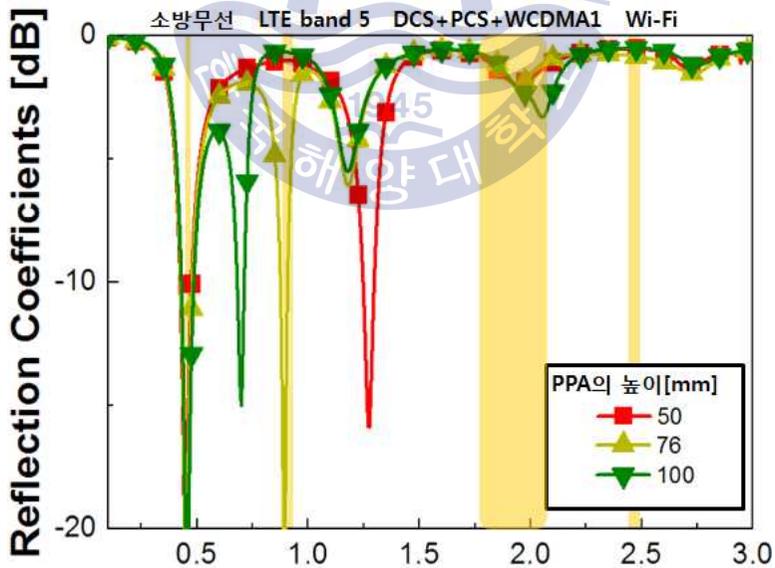


Fig. 3.7 Simulated reflection coefficients as a function of variation of  $L_2$ .

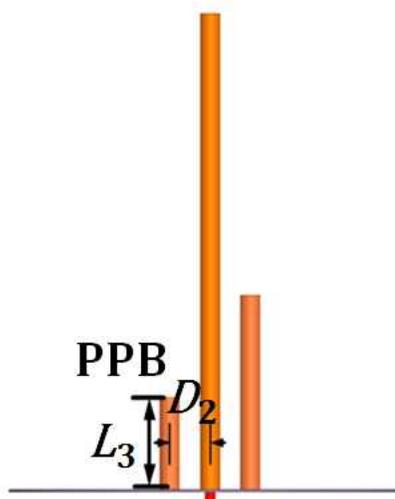


Fig. 3.8 Antenna structure with variation of  $D_2$  and  $L_3$ .

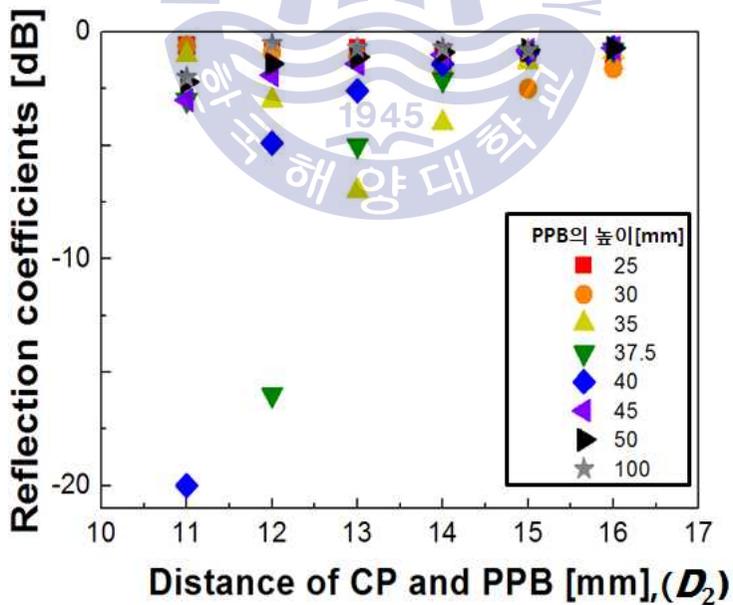


Fig. 3.9 Simulated reflection coefficients as a function of variation of  $D_2$  and  $L_3$ .

그림 3.10은 CP와 PPB 사이의 거리가 11 mm와 12 mm일 때의 반사계수를 보인다. CP와 PPB의 거리를 11 mm로 사용하면 LTE 대역에서 반사계수가 -10 dB 이하를 만족하지 못하게 되었다. 따라서 PPB의 높이를 37.5 mm, CP 사이의 거리는 12 mm로 선택하였다.

그림 3.11과 그림 3.12는 WCDMA 대역인 2,100 MHz에서 공진을 확보하기 위해서 기생소자 PPC를 추가한 안테나 구조와 모의실험 결과를 각각 보인다. PPC는 위에서 언급한 방법과 동일한 방법을 이용하여 최적의 특성을 도출하였다. PPC의 값이 -10 dB 이하의 값이 되는 경우는 4가지이다. LTE 대역과 DCS+PCS 대역을 고려를 하였을 때 PPC의 높이가 40 mm이고, CP 사이의 거리가 13 mm일 때 가장 좋은 특성을 얻었다.

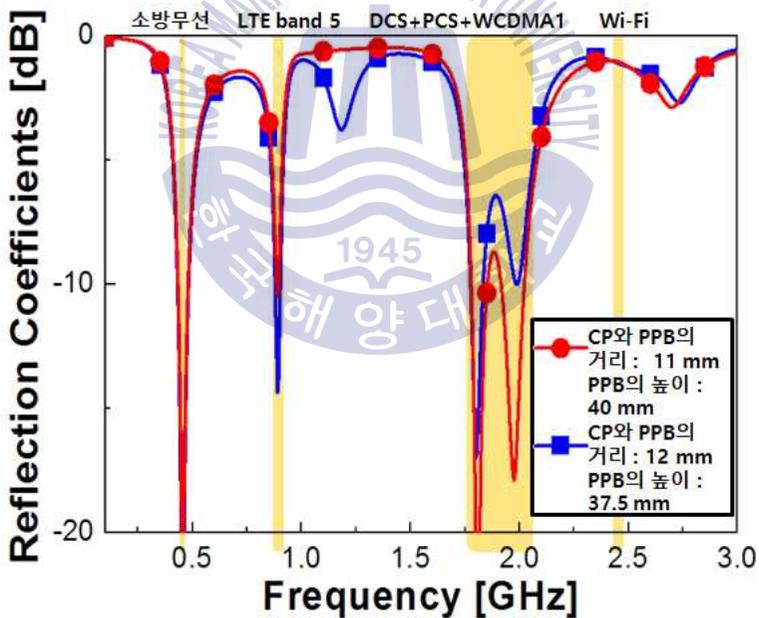


Fig. 3.10 Simulated reflection coefficients as a function of variation a PPB.

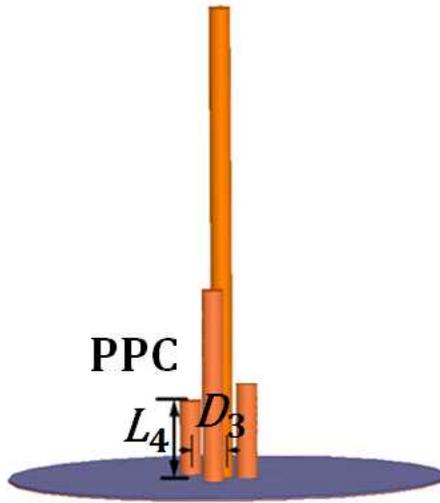


Fig. 3.11 Antenna structure with variation of  $D_3$  and  $L_4$ .

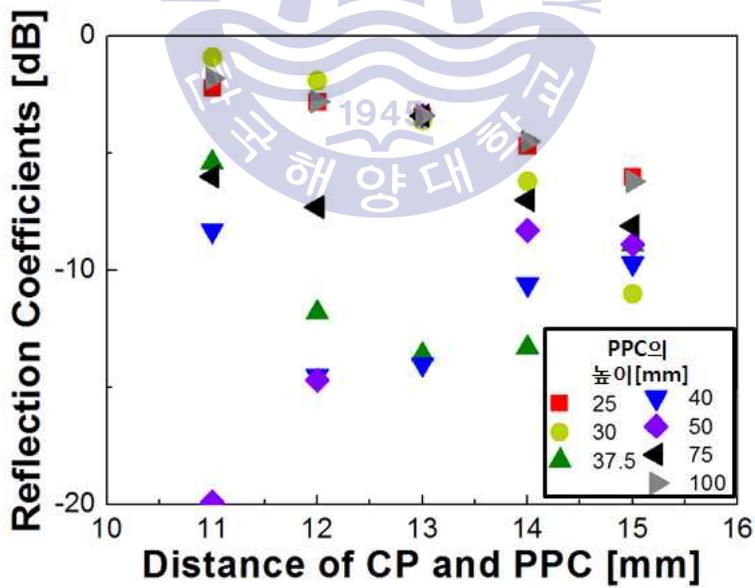


Fig. 3.12 Simulated reflection coefficients as a function of variation of  $D_3$  and  $L_4$ .

그림 3.13과 그림 3.14는 Wi-Fi 대역을 확보하기 위해서 기생소자 PPD를 추가한 안테나 구조와 모의실험 결과를 각각 보인다. PPD를 추가할 경우 -10 dB 이하의 값은 얻지 못하였지만, PPD의 높이가 25 mm, CP와의 거리가 12 mm일 때 -6 dB의 값을 얻었다.

그림 3.15와 그림 3.16는 CP를 기준으로 기생소자들의 각도에 따른 구조와 모의실험 결과를 각각 나타낸다. 기생소자들의 위치변화에 따라서 반사계수와 방사패턴의 변화를 줄 수 있다. 그림 3.16을 통해서 기생소자의 각도가 크면 클수록 더 좋은 반사계수 특성을 얻음을 알았다. 각도가 작으면 기생소자간의 결합이 증가하고 이로 인해 강한 상호결합이 발생하여 반사계수 특성이 나빠지는 것을 알 수 있다. 기생소자간의 각도가 가장 멀리 떨어져 있는  $90^{\circ}$ 에서 가장 양호한 특성을 얻었다.

그림 3.17은 최종 설계된 안테나의 구조이며, 그림 3.18은 최종 설계된 모의 실험 반사계수를 특성이다. 소방무선 대역, LTE band 5 대역 그리고 DCS+PCS 대역 및 WCDMA 대역에서 -10 dB 이하의 공진 특성을 가진다.

그림 3.19는 각 공진주파수에서의 안테나 전류분포를 나타내었다. 각각의 주파수마다 CP와 기생소자가 서로 다른 상호결합이 일어남을 알았다. (a)는 소방 무선주파수인 445 MHz에서 CP에 강하게 전류가 흐르는 것을 볼 수 있으며, (b)는 LTE band 5 대역인 890 MHz에서 CP와 PPA의 강한 상호결합이 발생하는 전류분포를 나타내고 있다. (c)는 DCS+PCS 대역인 1,800 MHz에서 CP와 PPB 사이의 강한 상호 결합을 알 수 있다. 또한 (d)는 WCDMA 대역인 2,100 MHz에서 CP와 PPB와 PPC에서 강한 상호결합이 일어난다. (e)는 Wi-Fi 대역인 2,450 MHz에서 CP와 PPD 사이에 강한 상호 결합이 일어난다.

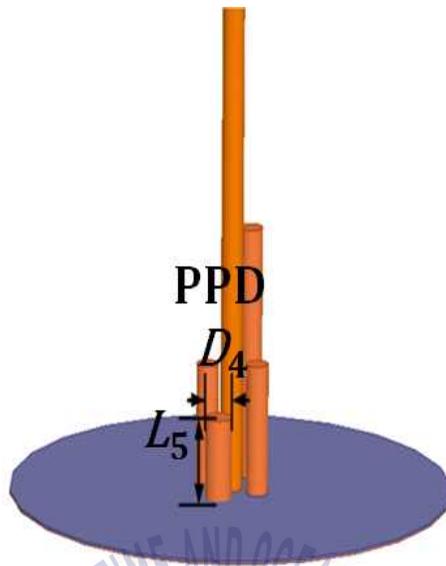


Fig. 3.13 Antenna structure with variation of  $D_4$  and  $L_5$ .

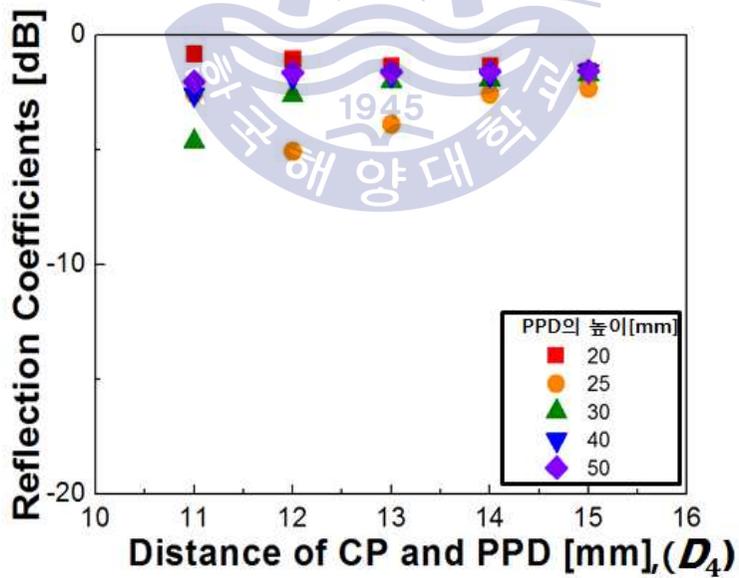


Fig. 3.14 Simulated reflection coefficients as a function of variation of  $D_4$  and  $L_5$ .

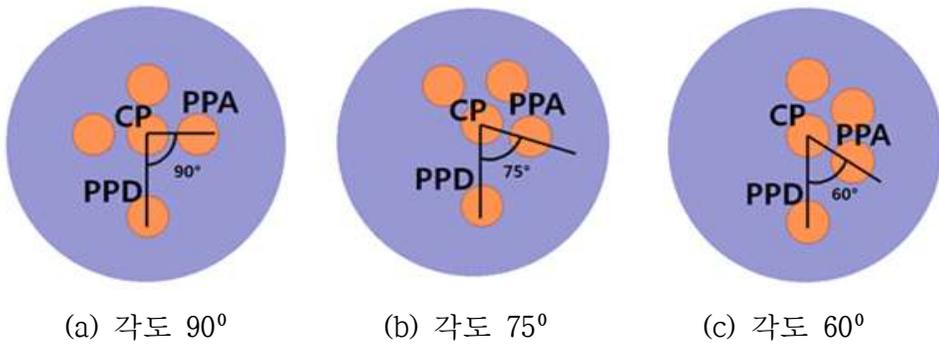


Fig. 3.15 Varied position of parasitic pole element by angle expression.

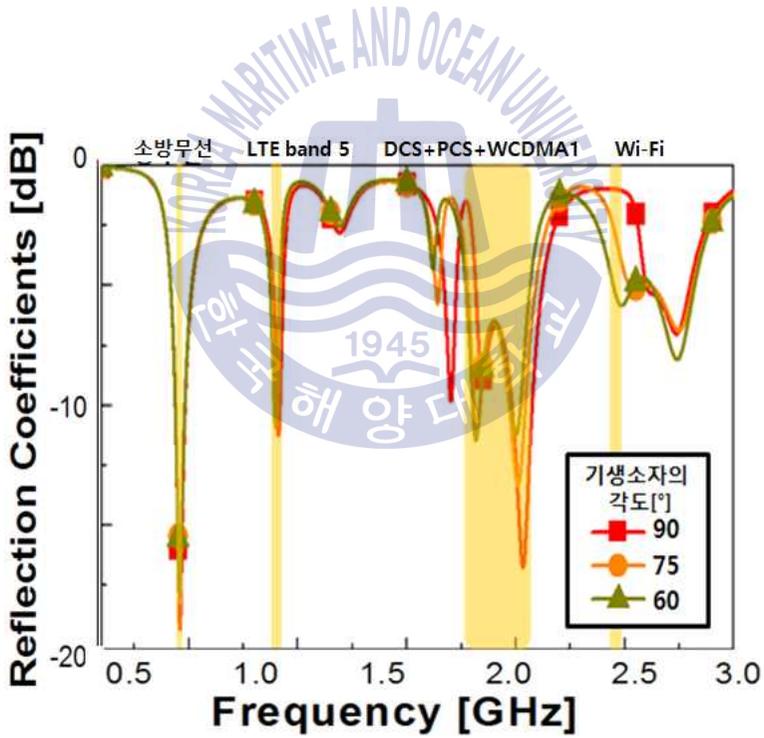
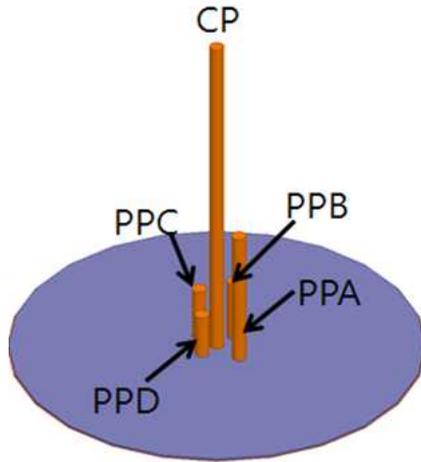
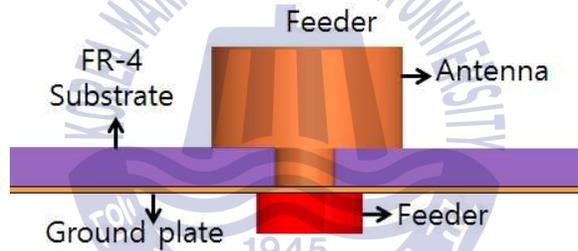


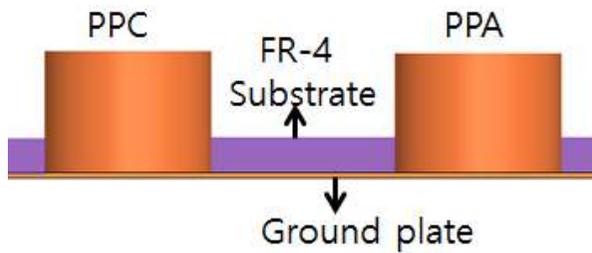
Fig. 3.16 Simulated reflection coefficients as function of parasitic element degree.



(a) 3차원 구조



(b) 급전구조



(c) 기생소자와 그라운드

Fig. 3.17 Structure of designed antenna.

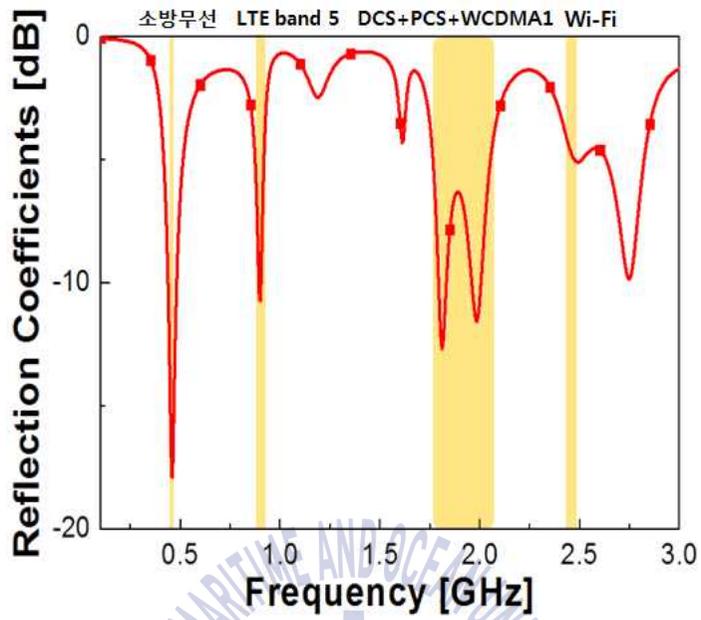
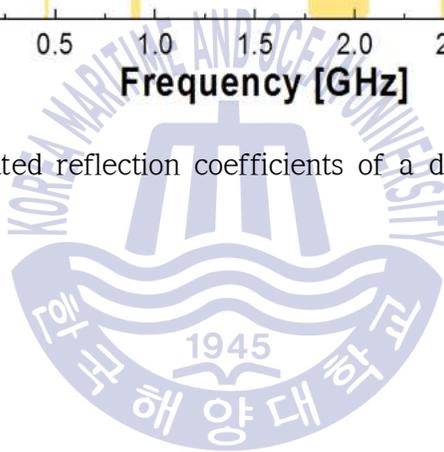
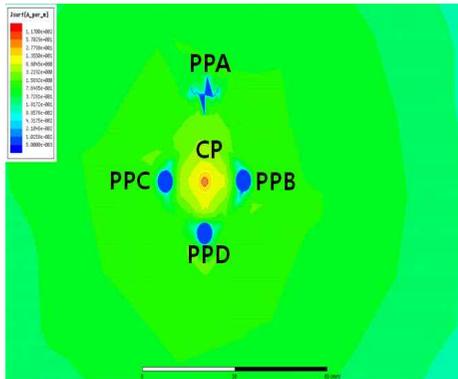
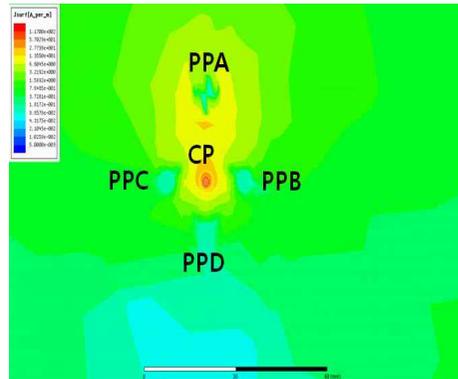


Fig. 3.18 Simulated reflection coefficients of a designed antenna.

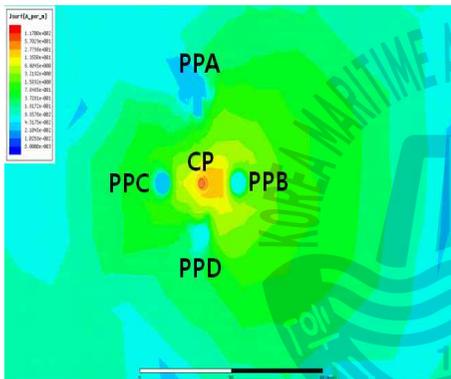




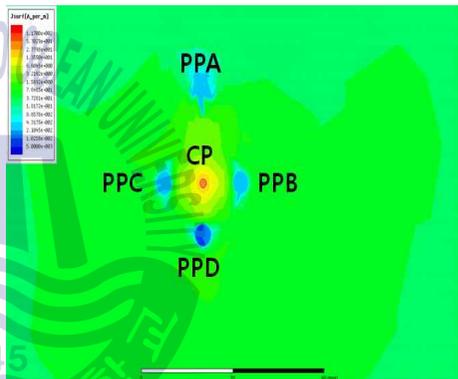
(a) 445 MHz



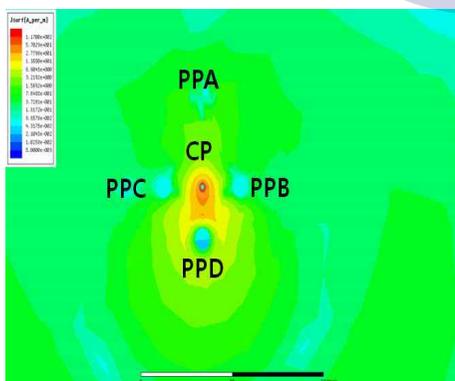
(b) 890 MHz



(c) 1,800 MHz



(d) 2,100 MHz



(e) 2,450 MHz

Fig. 3.19 Simulated current distribution at each resonance frequency.

### 3.2 안테나 제작 및 측정

그림 3.20은 제작한 안테나의 사진을 나타낸다. 그라운드의 지름은 200 mm  $\phi$ 이며 1 mm의 FR-4기판을 사용하였다. 소방무선주파수 대역에서 공진하는 다이폴은 그라운드 위에 10 mm  $\phi$ 의 지름, 길이 183 mm이며, 다른 주파수대역에서 공진하는 다이폴들을 주변에 배치한 구조이다. 제작한 안테나는 아래면에 SMA 커넥터로 CP에 급전을 주는 구조이며, 4개의 기생소자는 FR-4기판을 통과하여서 그라운드 면과 접촉되어 있다.



(a) 3차원 구조



(b) 안테나 급전부

**Fig. 3.20** Photograph of a fabricated antenna.

그림 3.21는 HFSS의 모의실험 반사계수와 VNA로 측정한 반사계수의 비교 그래프이다. 저주파수대역에서는 반사계수의 크기가 차이가 거의 없지만 1,700 MHz이상에서는 측정 값이 시뮬레이션과 약간의 오차를 보이고 있다. 오차를 보정하여 다시 모의실험한 결과 측정 값과 유사한 반사계수를 얻을 수 있었다.

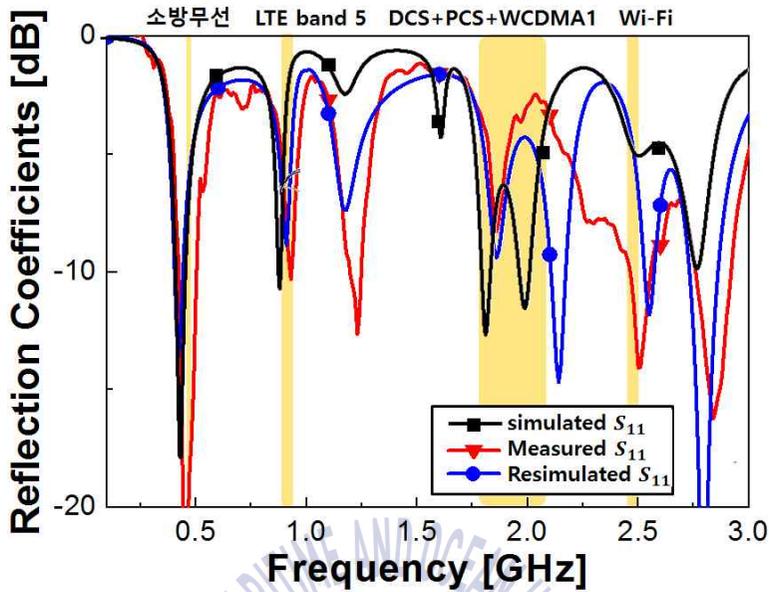


Fig. 3.21 Simulated measured reflection coefficients of design antenna.

그림 3.22는 소방무선, LTE band 5, DCS+PCS, WCDMA, Wi-Fi의 중심주파수에서 모의실험된 2-D 방사패턴과 측정된 방사패턴을 보인다. XY-면의 경우 XZ-면과 거의 동일한 패턴을 가지기 때문에 표기하지 않았다. 측정된 결과는 모의실험과 측정된 결과 값은 대체로 잘 일치한다. 고주파수로 갈수록 방사 패턴이 특정 방향으로 다소 치우치게 된다. 890 MHz의 경우에는 X축 방향으로 PPA가 존재하며, PPA와 CP 사이에 강한 결합이 생기기 때문이다. 따라서  $\theta = 90^\circ$  위치에서의 이득이  $\theta = -90^\circ$ 에서 보다 약 8 dBi 이상의 값을 가진다. 이는 PPA와 CP 사이에 강한 전류 결합에 기인하는 것으로 판단된다. 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. 그라운드의 지름을 200 mm  $\phi$ 로 제한하였기 때문에 450 MHz에서는 후방부엽 패턴이 강하게 나타나서 지향특성을 거의 가지지 못한다. 이는 향후 연구과제로 지향특성을 개선할 필요가 있다. 그림 3.23은 모의실험과 측정된 최대이득 값을 나타내었다.

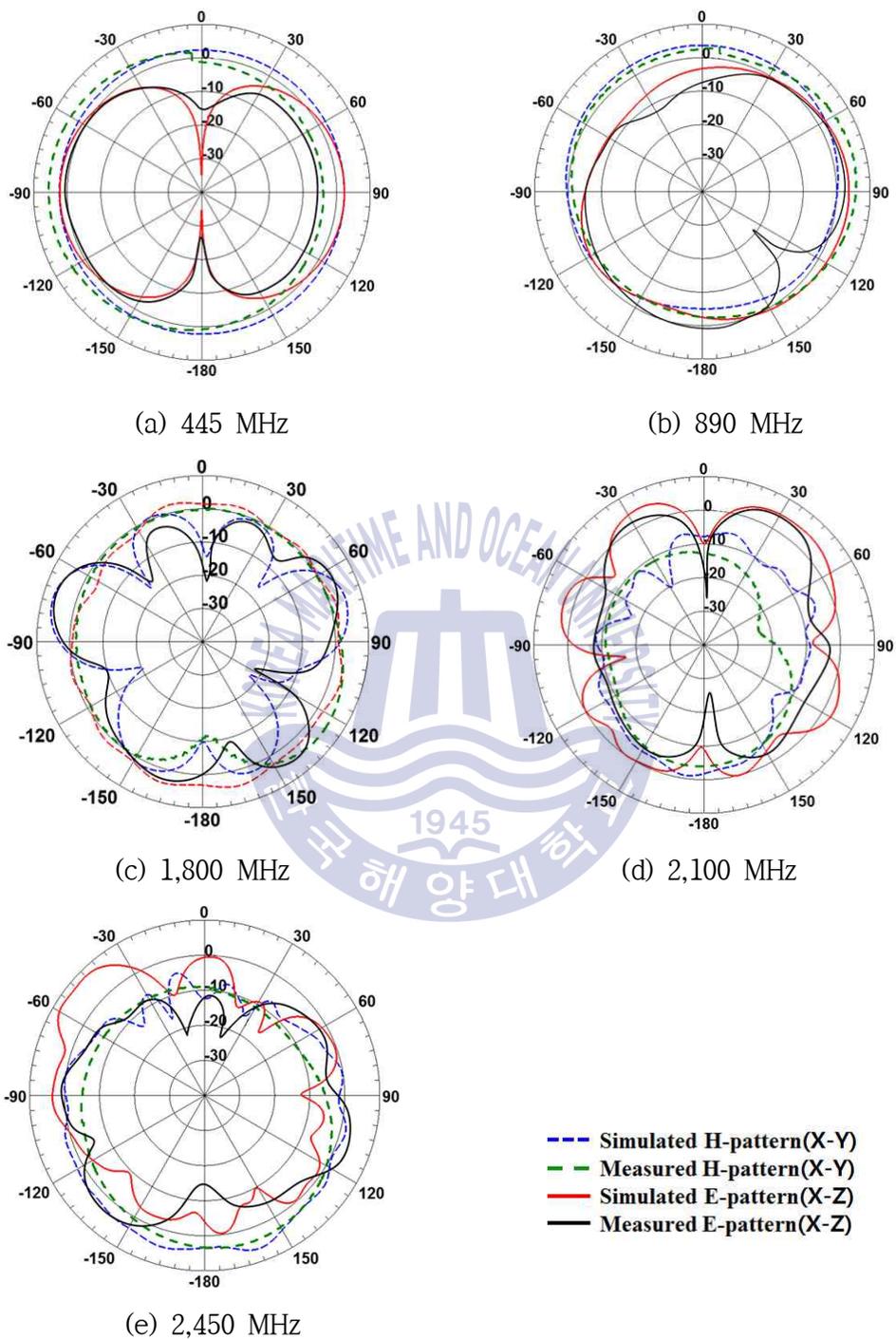


Fig. 3.22 Simulated and measured 2-D radiation pattern of design antenna.

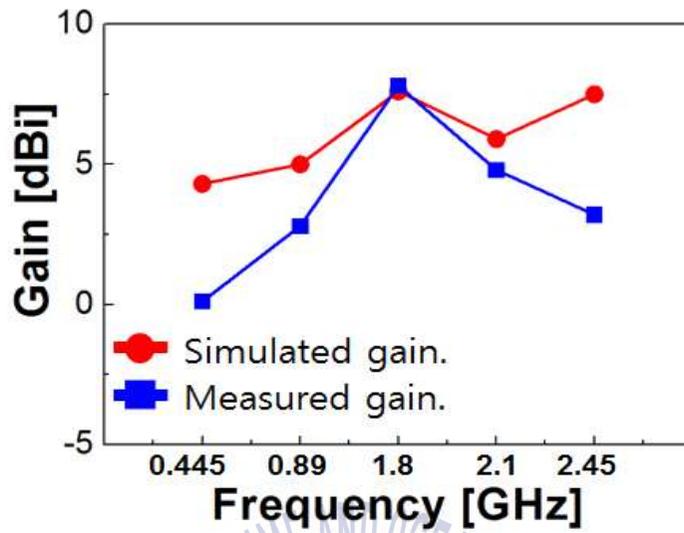


Fig. 3.23 Simulated and measured gain of design antenna.



### 3.3 결과분석

본 장에서는 소방무선, 중계기, Wi-Fi 대역에서 동작하는 중심폴과 기생소자를 가지는 안테나를 설계하였다. 모노폴 안테나의 중심폴 (CP)과 기생소자 (PPA, PPB, PPC, PPD)의 상호결합을 이용하여 다중공진 특성을 얻었다. 설계된 안테나의 폴과 기생소자의 높이는 다중공진대역에 이동에 영향을 주었다. 중심폴과 기생소자의 지름은 안테나의 순저항 값에 영향을 준다는 것을 알 수 있었다. 기생소자와 중심소자의 간격과 높이를 동시에 조절을 하여 PCS+DCS+WCDMA 대역의 공진을 얻을 수 있었다. 그리고 기생소자간의 각도는 안테나의 반사계수와 방사패턴을 결정하는 중요한 요소이다. 제안된 안테나는 지향성의 방사패턴을 가지며, 모의실험 값과 측정 값은 대체로 잘 일치한다.



## 제 4 장 디스콘 안테나 설계

### 4.1 안테나 설계

2장과 3장에서 설계된 안테나의 경우 다중대역 공진특성으로 협대역 특성을 가지고 있다. 이를 해결하고자 광대역을 가지는 디스콘 안테나를 고려하였다. FR-4 기판을 이용하여 십자형 디스콘 안테나를 설계를 하였다. 1 mm 두께의 기판을 이용하였으며, 설계된 안테나의 그라운드 지름은 200 mm  $\phi$ 이다. 유전체 기판의 복소 유전율( )은  $4.4+j0.04$  이다. 원형평판의 중심에서 사다리꼴 모양의 안테나로 프로브 급전을 하였다. 설계된 안테나의 슬롯의 유무는 광대역의 주파수를 가지는 중요한 파라미터이다.

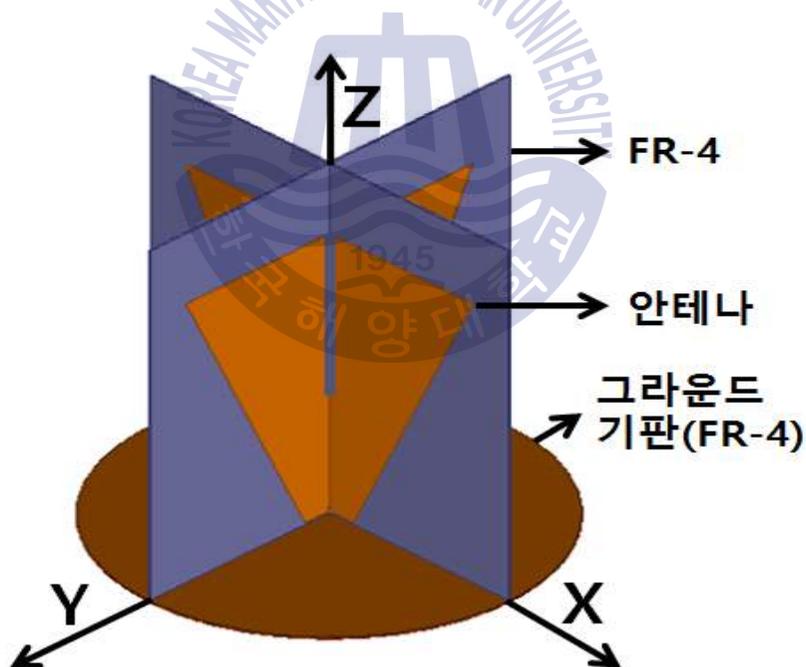
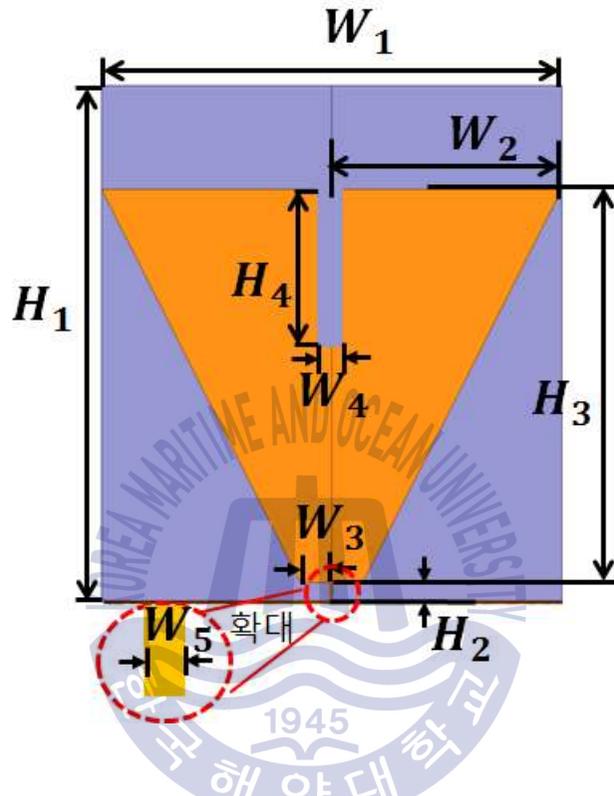


Fig. 4.1 3-D view of proposed disccone antenna.

그림 4.2는 설계 안테나의 파라미터와 각 파라미터의 값을 나타내고, 그림 4.3은 설계한 안테나의 급전구조를 상세히 나타낸 것이다.



Parameter	Value
	200 mm
$W_2$	100 mm
$W_3$	13 mm
$W_4$	1 mm
$W_5$	1 mm
$H_1$	200 mm
$H_2$	2 mm
$H_3$	16 mm
$H_4$	50 mm

Fig. 4.2 Parameters of base disccone antenna.

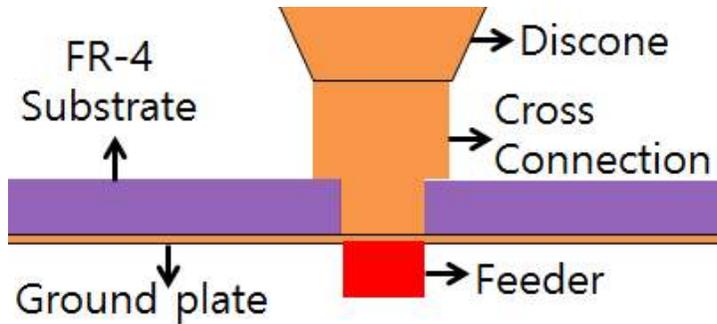


Fig. 4.3 Feeder structure of designed antenna.

그림 4.4는  $H_2$ 의 변화에 따른 모의실험 결과를 보인다.  $H_2$ 의 높이가 증가함에 따라서 모든 대역에서 반사계수의 특성이 변하게 된다.  $H_2$ 가 증가할수록 소방무선주파수에서는 특성이 나빠지지만, 다른 대역에서는 대역폭을 만족하게 되고 특성이 향상된다.  $H_2$ 가 6 mm일 때 가장 최적의 특성을 보인다.

그림 4.5는  $W_5$ 의 변화에 따른 모의실험 결과를 보인다.  $W_5$ 의 너비가 증가될수록 LTE 대역을 제외한 나머지 대역에서의 특성이 향상된다. 너비가 증가함에 따라서 안테나의 임피던스의 변화를 완만하게 하는 효과를 얻는 것으로 판단된다. 관심대역에서 -13 dB의 반사계수 특성을 보이는 1 mm를 선택하였다. 그림 4.3과 그림 4.4를 통해서 그라운드와 안테나를 연결하는 십자형 부분은 안테나의 반사계수의 모든 대역에 영향을 주며, 광대역을 결정하는데 중요한 요소라는 것을 알 수 있다.

그림 4.6은 디스콘 안테나의 높이인  $H_3$ 의 변화에 대한 결과를 나타낸다.  $H_3$ 의 높이가 높아짐에 따라서 모든 대역에서 공진주파수가 저주파수로 이동하였다. 안테나의 전기적 길이의 증가로 소방무선대역에서 반사계수 특성이 향상된다. 높이가 200 mm일 때 최적의 특성을 가진다.

그림 4.7은 디스콘 안테나의 폭  $W_2$ 의 변화에 대한 결과를 보인다.  $W_2$ 는 소방무선대역의 반사계수를 향상시키며, WCDMA와 Wi-Fi 대역의 반사계수에 영향을 끼친다. Wi-Fi 대역과 WCDMA의 특성을 고려하였을 때 너비가 110 mm가 가장 최적의 특성을 가진다.

그림 4.8은  $W_3$ 의 변화에 따른 모의실험 결과 값이다.  $W_3$ 의 변화는 LTE 대역과 Wi-Fi 대역에서의 반사계수의 크기가 변한다.  $W_3$ 의 너비가 10 mm를 가질 때 최적의 특성을 가지게 된다. 그림 4.6과 그림 4.7을 통해서 디스크 안테나의 폭은 안테나의 반사계수의 향상에 영향을 준다고 판단했다. 특히 소방무선대역의 경우 디스크 안테나의 폭을 조절하면 향상된다는 것을 알 수 있었다.

그림 4.9는 디스크 안테나의 슬롯을 변화시켰을 때의 결과를 보인다. 슬롯의 높이인  $H_4$ 는 Wi-Fi 대역에서의 반사계수의 크기에 영향을 주며, 대역폭이 미세하게 변경되었다. Wi-Fi 대역에서의 순저항의 크기에 영향을 주는 것으로 판단된다. WCDMA 대역의 반사계수를 고려하여 150 mm를 선택하였다.

그림 4.10은 슬롯의 폭  $W_4$ 를 변경한 결과를 보인다.  $W_4$ 의 변화는 WCDMA 대역의 반사계수의 크기와 Wi-Fi 대역의 순저항 값에 영향을 준다는 것을 알 수 있었다.  $W_4$ 가 1 mm와 10 mm일 때 좋은 값을 얻을 수 있었는데 제작의 용이성을 위해서 10 mm 일 때를 선택하였다.

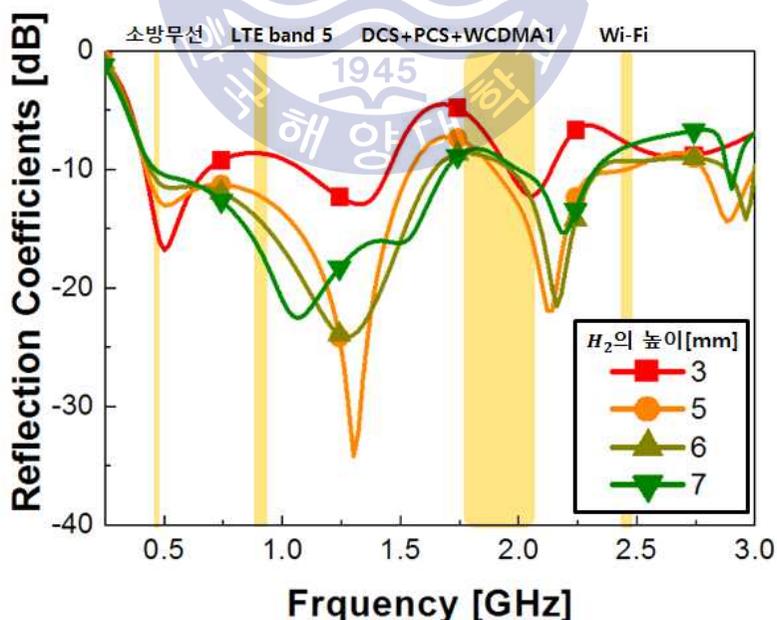


Fig. 4.4 Simulated reflection coefficients as a function of variation of  $H_2$ .

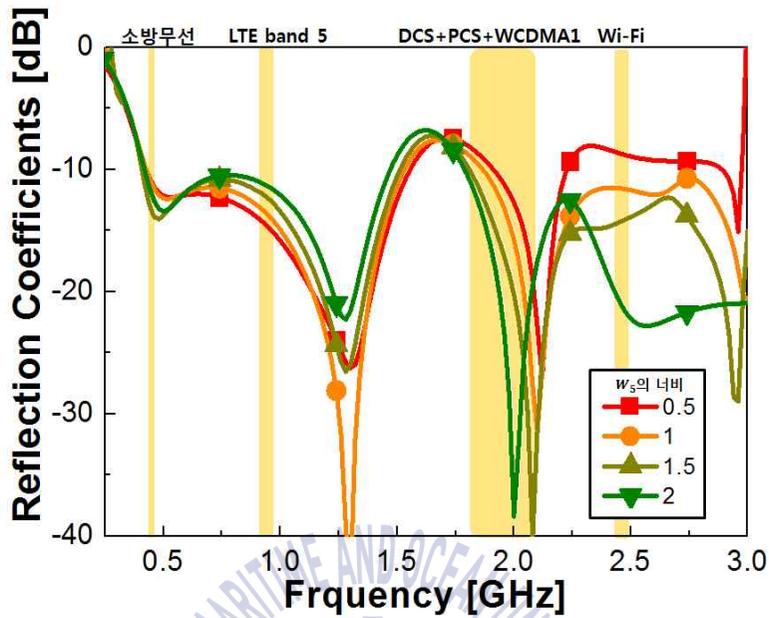


Fig. 4.5 Simulated reflection coefficients as a function of variation of  $w_3$ .

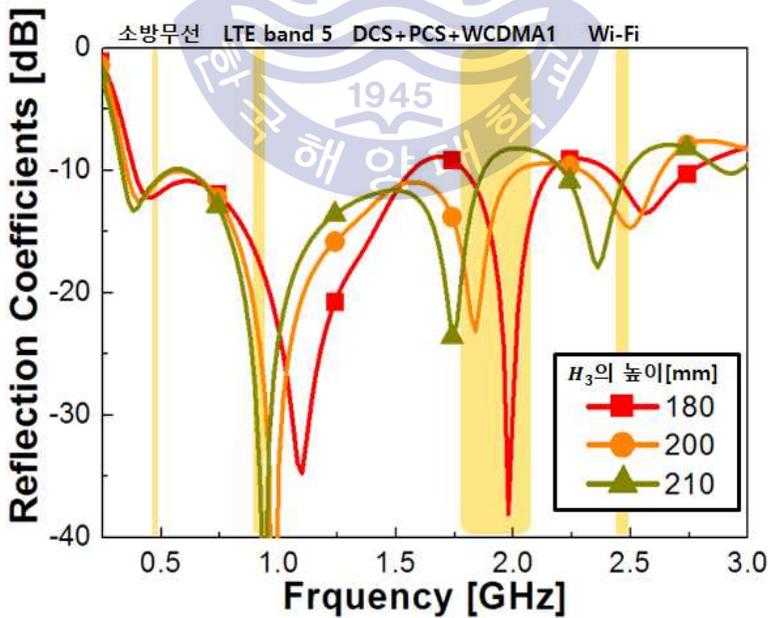


Fig. 4.6 Simulated reflection coefficients as a function of variation of  $H_3$ .

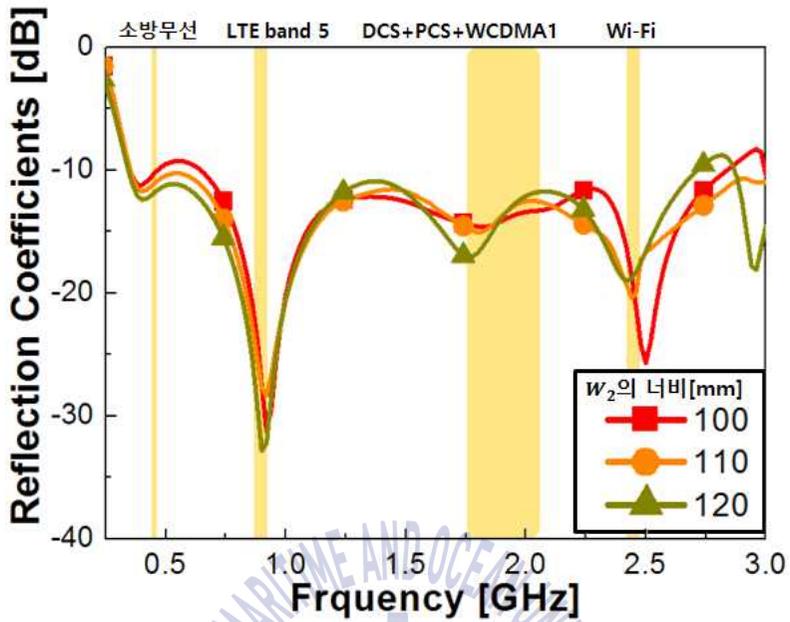


Fig. 4.7 Simulated reflection coefficients as a function of variation of  $w_2$ .

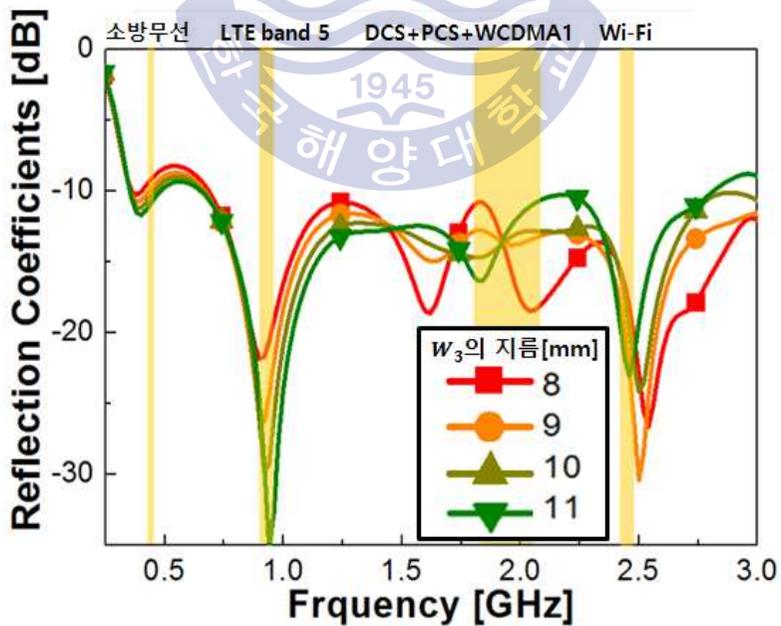


Fig. 4.8 Simulated reflection coefficients as a function of variation of  $w_3$ .

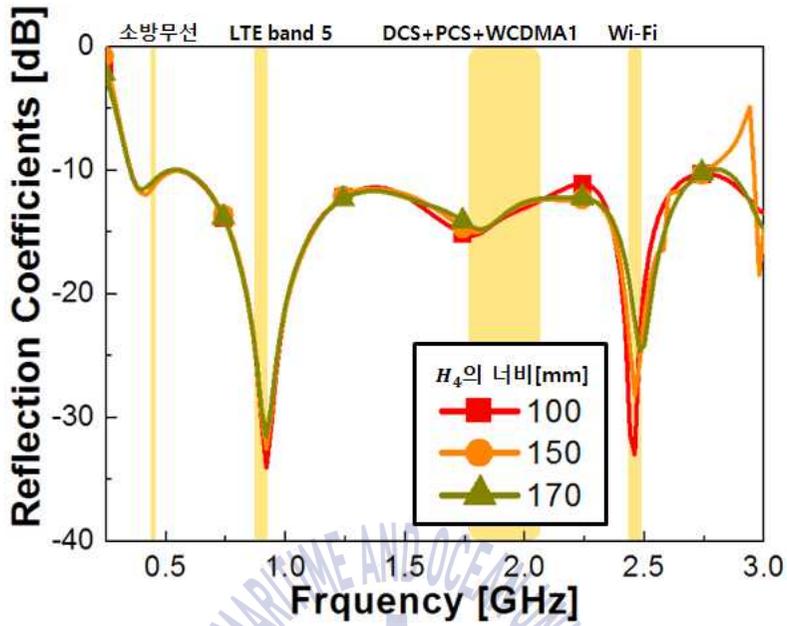


Fig. 4.9 Simulated reflection coefficients as a function of variation of  $H_4$ .

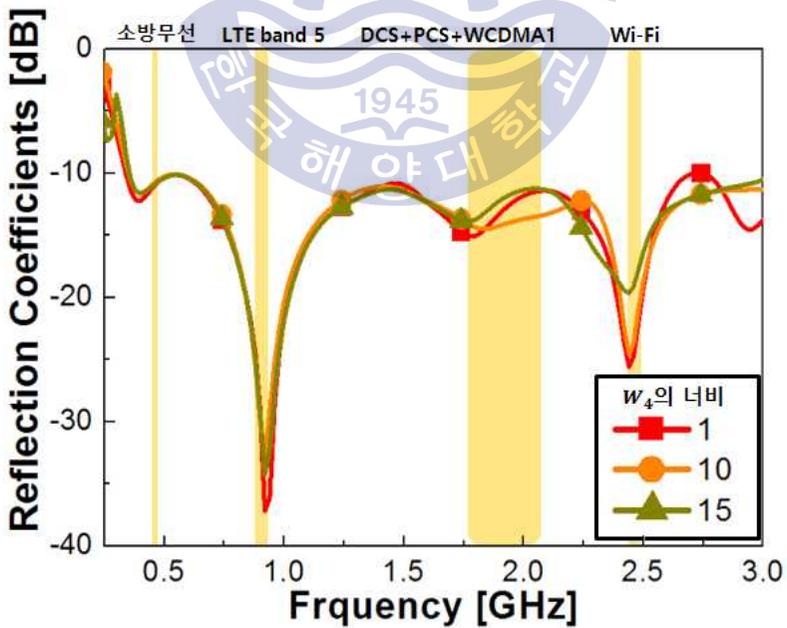


Fig. 4.10 Simulated reflection coefficients as a function of variation of  $W_4$ .

## 4.2 안테나 제작 및 측정

그림 4.11은 제작한 디스크 안테나의 사진이다. 1 mm 두께의 FR-4 기판을 이용하여 십자형 디스크 안테나를 제작하였다. 제작한 안테나의 그라운드 지름은 200 mm  $\phi$ 이다. 원형평판의 중심에서 프로브 급전방식으로 제작을 하였다. 그림에 보이는 종이테이프는 고정을 위해서 사용되었으며, 측정에는 큰 영향을 끼치지 않았다.

그림 4.12는 제안한 안테나의 반사계수를 모의실험과 측정 값을 비교하여 나타낸 것이다. 제작된 안테나는 모의실험 결과와 잘 일치한다. 모의실험 값과 측정 값 모두 관심대역에서 -10 dB이하의 반사계수를 얻을 수 있었다.



Fig. 4.11 Photograph of fabricated antenna.

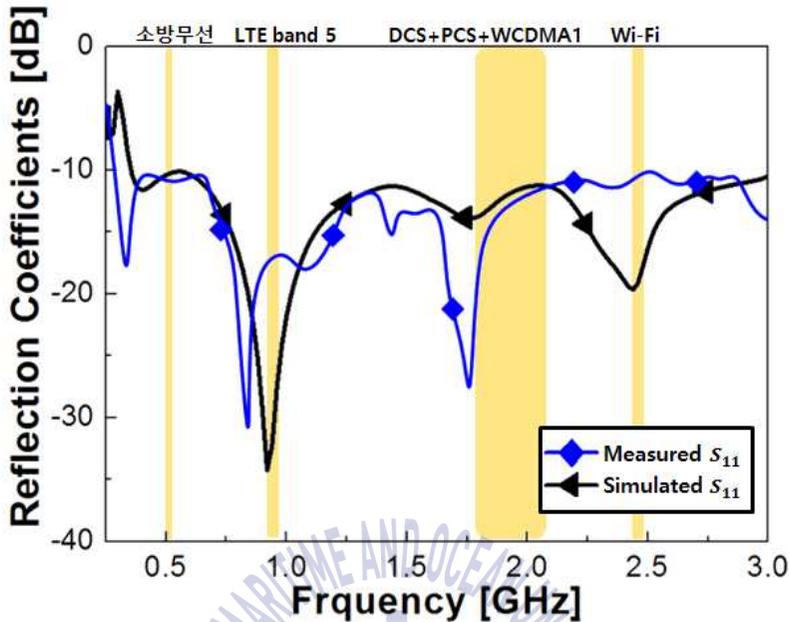


Fig. 4.12 Simulated measured reflection coefficients of design antenna.

그림 4.13은 XZ-면의 전계의 방사패턴이다. 445 MHz에서는 무지향성 방사패턴을 가진다. LTE, WCDMA와 Wi-Fi 대역에서는  $10^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 과  $-50^{\circ}\sim -10^{\circ}$ 의 방향으로 지향성을 가지게 된다. 방사패턴의 경우 모의실험과 측정 값은 대체로 일치하는 결과를 보인다. 소방무선주파수에서 무지향성의 방사패턴을 가지는 이유는 그라운드의 크기가 파장의 길이인 666 mm보다 많이 작기 때문이다.

그림 4.14는 YZ-면의 전계의 방사패턴이다. 안테나를 건물의 천장에 설치할 경우에 전계의 XZ-면과 YZ-면에서  $10^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 과  $-50^{\circ}\sim -10^{\circ}$ 의 방향으로 지향성 가지기 때문에 건물의 어느 위치에 두더라도 강한 신호를 받을 수 있을 것이라 판단된다.

그림 4.15는 XY-면의 자계의 방사패턴이다. 모든 대역에서 등방성의 방사패턴을 얻을 수 있었다. 모의실험 값은 측정 값과 대체로 일치하였다. 2,450 MHz에서 바람개비 모양의 방사패턴을 가지게 된 이유로는 소방무선대역과 LTE 대역에서의 체배주파수가 원인이라고 판단된다.

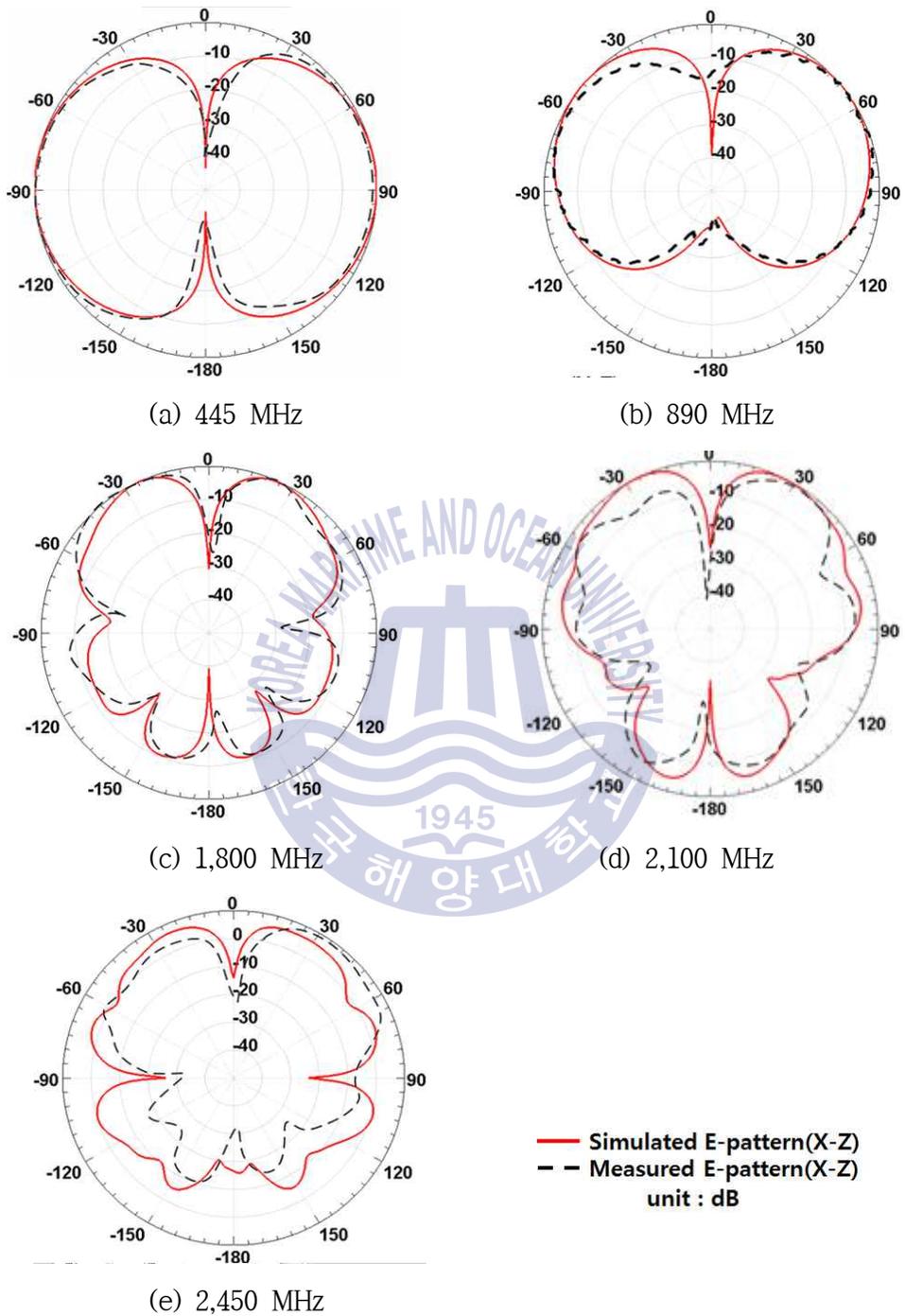
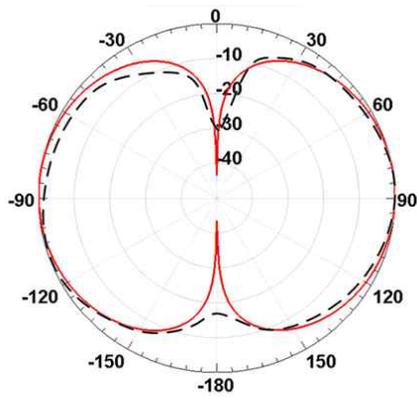
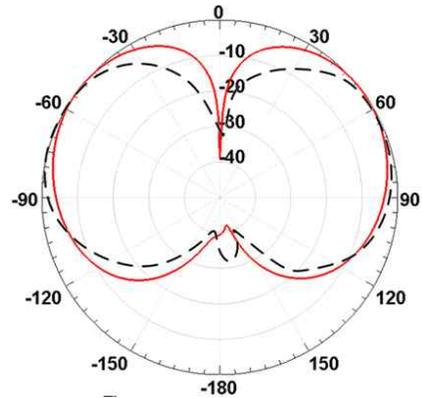


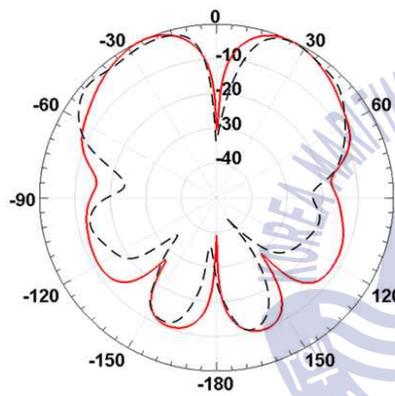
Fig. 4.13 Simulated and measured 2-D radiation pattern of design antenna (X-Z).



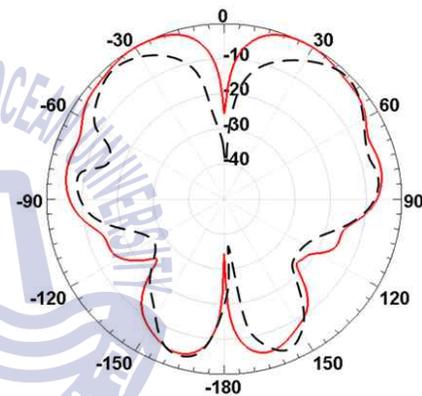
(a) 445 MHz



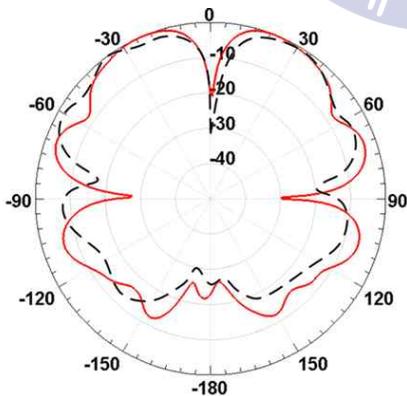
(b) 890 MHz



(c) 1,800 MHz



(d) 2,100 MHz



(e) 2,450 MHz

— Simulated E-pattern(Y-Z)  
 - - Measured E-pattern(Y-Z)  
 unit : dBi

Fig. 4.14 Simulated and measured 2-D radiation pattern of design antenna (Y-Z).

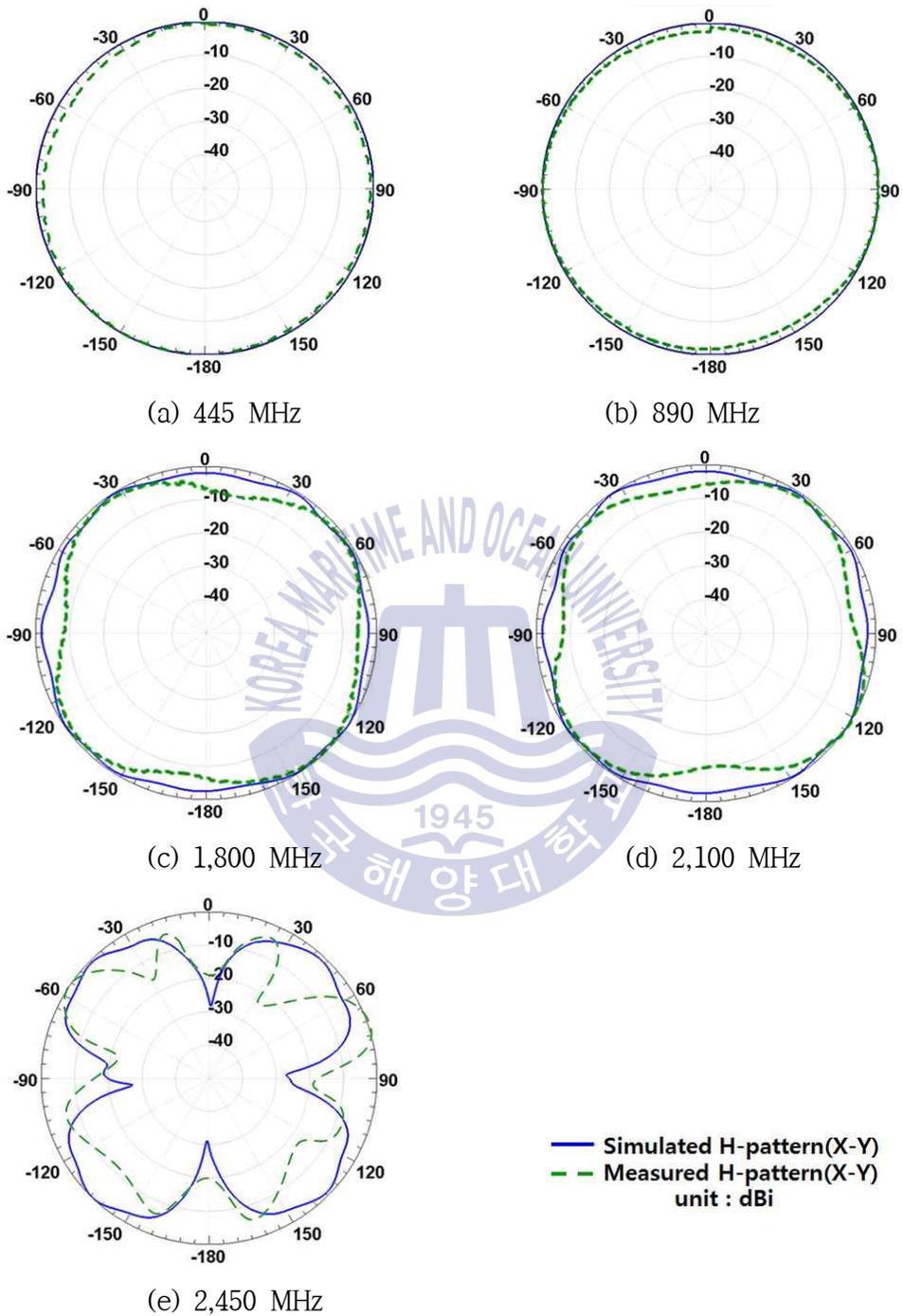


Fig. 4.15 Simulated and measured 2-D radiation pattern of design antenna (X-Y).

그림 4.16은 모의실험과 측정된 전개면의 최대 이득을 나타내었다. 측정된 이득은 모의실험된 이득과 대체로 일치하였다. 측정된 이득은 450 MHz에서 1.6 dBi, 890 MHz에서 3.4 dBi, 1,800 MHz에서 5.9 dBi, 2,100 MHz에서 5 dBi, 2,450 MHz에서 6.2 dBi의 이득을 얻었다. 목표이득인 0.5 dB보다 1 dB이상 높은 값을 얻었으며 중계기 대역에서는 3 dB 이상의 우수한 특성을 얻을 수 있었다.

표 4.1에서는 최종 설계된 디스크 안테나와 기존의 중계기 안테나의 규격을 비교하였다. 기존의 중계기 안테나보다 더 넓은 대역폭과 반사계수를 가지는 장점을 가진다. 또한 기존의 중계기 안테나가 포함하고 있지 않은 소방무선을 사용할 수 있다는 큰 장점을 가진다. 이득의 경우 상업용 중계기 안테나의 경우 모든 대역에서 0.5 dBi 이상을 얻지만 설계된 디스크 안테나는 소방무선대역에서는 1.6 dBi를 얻으며, 중계기 대역과 Wi-Fi 대역에서는 3.4 dBi 이상의 이득을 얻을 수 있었다.

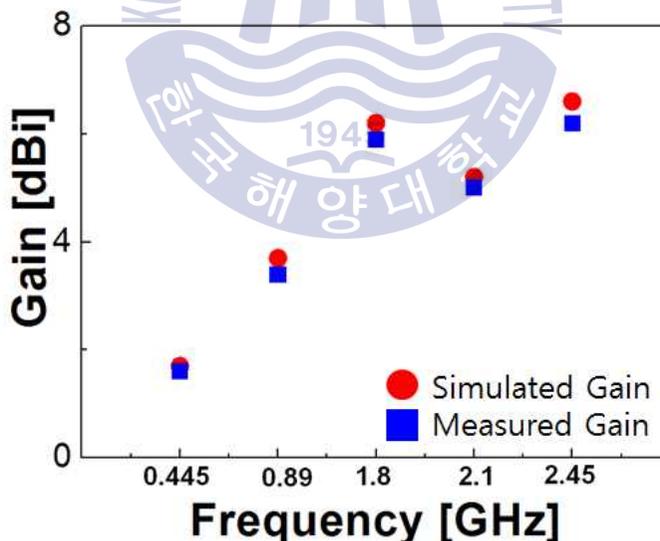


Fig. 4.16 Simulated and measured gain of design antenna.

**Table. 4.1** Comparison between commercial antenna and design antenna.

비교수치	상업용 중계기 안테나[15]	디스콘 안테나
대역폭	824~894 MHz 1,710~2,170 MHz 2,300~2,690 MHz	440~450 MHz 819~2,650 MHz
반사계수	-10.88 dB	-12 dB
이득	824~894 MHz = 0.5 dBi 1,710~2,170 MHz = 1.5 dBi 2,300~2,690 MHz = -1.5 dBi	440~450 MHz = 1.6 dBi 819~960 MHz = 3.4 dBi 1,710~2,650 MHz = 5 dBi



### 4.3 결과분석

본 장에서는 소방무선, 중계기, Wi-Fi 대역에서 동작하는 광대역 안테나를 설계하고자 십자형 디스콘 안테나를 제안하였다. 안테나와 그라운드 사이의 십자형 구조를 조절하여 임피던스 변화를 통하여 광대역의 대역폭을 얻을 수 있었다. 디스콘의 폭과 높이는 반사계수의 특성에 영향을 주었다. 또한 안테나의 슬롯은 Wi-Fi 대역에서의 공진에 큰 영향을 주었다. 설계된 안테나의 방사패턴의 XZ-면과 YZ-면은 동일하였으며,  $10^{\circ}$ ~ $50^{\circ}$ ,  $-50^{\circ}$ ~ $-10^{\circ}$ 에서의 지향성을 가지고 있다. 안테나를 실제 제작하고 측정하였으며 모의실험 값과 측정 값은 대체로 일치하는 결과를 보였다.



## 제 5 장 결론

본 논문은 소방무선을 포함하는 인빌딩용 중계기 안테나를 설계하였다.

1장에서는 통합형 중계기 안테나를 설계 이유, 소방무선대역의 필요성, 여러 가지 중계기 안테나에 대하여 설명하였다.

2장에서는 소방무선, 중계기와 Wi-Fi 대역에서 다중공진을 가지는 안테나를 얻기 위해서, 다이폴과 바이코니컬 안테나가 결합된 구조의 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 여러 가지의 다이폴을 이용하여 다중대역의 특성을 얻고, 바이코니컬 구조를 사용하여 설계된 다이폴에 강한 전류가 흐르는 효과를 얻을 수 있었다. 또한 폴의 개수를 늘려 동작되는 안테나의 관심대역에서 대역폭과 이득을 증가시켰다. 모의실험과 측정 값은 대체로 일치하였다.

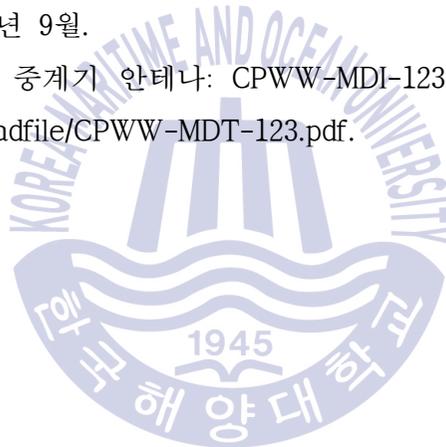
3장에서는 2장에서 설계된 안테나가 가지지 못하는 지향성을 가지기 위해서, 중심 폴과 기생소자를 가지는 모노폴 안테나를 제안하였다. 중심에서 급전을 준 폴에서 소방무선대역에서의 공진을 얻었다. 중심폴과 기생소자간의 상호결합을 이용하여 다중공진 특성을 얻었다. 중심폴과 기생소자간의 거리와 중심소자와 기생소자의 높이가 복합적으로 작용하여 반사계수에 영향을 주었다. 중심소자와 기생소자의 지름은 안테나의 순저항 값에 영향을 주었다. 모의실험결과 는 측정 값과 대체로 일치하였다.

4장에서는 2장과 3장에서 설계된 안테나에서 부족한 대역폭개선과 지향성을 가지는 설계를 위해 입체형 십자 디스크 안테나를 제안하였다. 그라운드와 디스크 안테나의 사이의 십자형구조를 조절하여 광대역의 특성을 얻을 수 있었다. 디스크 안테나의 크기는 안테나의 반사계수에 영향을 주었다. 슬롯은 주로 Wi-Fi 대역에서 영향을 주었다. FR-4를 이용한 십자형 구조를 설계하여 원형구조보다 안테나의 크기가 줄어들고 제작이 용이한 장점을 가지고 있다. 모의실험결과는 측정 값과 대체로 일치하였다. 안테나가 너무 큰 단점을 가지고 있음으로 향후과제로 소방무선대역을 포함하는 소형화된 안테나 설계가 필요하다.

## 참고문헌

- [1] 손은수, 박태선, 김종락, 윤명호, “소방공무원 현장안전을 위한 무선통신망 운영에 관한 연구”, *한국소방학회논문지*, 27(1), pp. 60-65, 2013년 2월.
- [2] 전내석, “무선통신보조설비의 화재안전기준(NFSC 505) 해설”, *(주)대명디앤피*, pp. 1-6, 2013년.
- [3] 해피라이어즈, “[STV]부산 해운대 고층아파트 ‘우신골든 스위트’ 화재, 진화 작업 난항”, *네이버블로그*, <http://blog.naver.com/s1031j/120115919170>, 2010년.
- [4] 김진영, 윤상필, 송정용, 노희구, 권순봉, “건축물 내 이동통신구내선로 설비 공동 구축 및 공동 사용 활성화를 위한 법제화 방안 연구”, *(사)한국통신사업자 연합회*, 방송통신정책연구 10-진흥-나-18, pp. 71-83, 2010년.
- [5] Warren L. Stutzman, Gary A. Thiele, “*Antenna Theory and Design*”, Wiley, Third edition, 2012.
- [6] Byungje Lee, Frances J. Harackiewicz, Byungwoon Jung, and Myun-Joo Park, “Cavity-Backed Slot Antenna Array for the Repeater System of a Satellite Digital Multimedia Broadcasting Service”, *IEEE antennas and wireless propagation letter*, vol. 4, no. 1, pp. 389-392, Nov. 2005.
- [7] 이재욱, 송명선, “고출력용 비평면형 안테나의 소형화 기술”, *전자파기술 14(2)*, pp. 41-54, 2003년 4월.
- [8] Anas Abas, Arny Adila Salwa, Kamalia Kamardin, Sharlene Thiagarajah, Mahamod Ismail and Norbahiah Misran, “Multiband-Antenna for In-building Coverage Operation”, *APMC 2007*, pp. 1-4, Dec. 2007.
- [9] 박동국, 조익현, 서홍은, 윤나라, 김진영, “지하 매설물 관리를 위한 2.4 GHz 대역의 인쇄형 야기 안테나”, *전자파학회논문지*, 19(12), pp. 1360-1366, 2008년 12월.
- [10] 오성균, “지하공간에서 이동통신 셀 설계에 관한 연구”, *대한전자공학회 논문지 TC편* 45(1), pp. 27-32, 2008년

- [11] Samaddar, S.N, washington, “Biconical antennas with unequal con angles”, *IEEE Transactions on Antenna and Propagation*, vol. 46, no. 2 pp. 182-193, Feb. 1998.
- [12] 김준규, 이인재, 윤현보, “테이퍼 구조를 갖는 광대역 바이코니컬 안테나의 설계”, *한국전자파학회논문지*, 17(11), pp. 1096-1104, 2006년 11월.
- [13] Sung-min Kim, Kyeong-sik Min and Seong-young Gang, “Design for Multiband Monopole Antenna with Parasitic Elements In-building Mobile Communication”, *2014 APWiMob*, pp. 92-94, Aug. 2014.
- [14] 오종대, 김창일, 공성신, 양운근, “셀룰러와 CDMA와 IMT-2000 중계기용 슬롯 구조 이중대역 모노폴 안테나의 설계”, *한국전자파학회논문지*, 14(9), pp. 912-918, 2003년 9월.
- [15] 선우커뮤니케이션 중계기 안테나: CPWW-MDI-123, <http://www.sunwoo.net/upload/goods/uploadfile/CPWW-MDT-123.pdf>.



## Publications

### 국내 논문지

- [1] 김성민, 민경식, “소방무선대역을 포함하는 인빌딩용 다중대역 중계기 안테나 설계”, 한국전자과학회논문지, 27(6), 2016년 6월. (게재예정)

### 국내 학술대회 발표

- [1] 김성민, 민경식, 박철근, “소방무선 대역을 포함한 십자형 디스콘 중계기 안테나 설계”, 2016년도 한국전자과학회 하계종합학술대회 논문집, 4, 2016년 6월.
- [2] 권석진, 박보경, 민경식, 김성민, 박철근, 손병국, 한민호, 이원빈, “블록 렌즈를 가지는 스파이럴 안테나의 후방부엽 개선을 위한 코니컬 벽 가장자리의 최적화 설계”, 2016년도 한국전자과학회 하계종합학술대회 논문집, 4, 2016년 6월.
- [3] 이원빈, 류주현, 민경식, 김성민, 박철근, 손병국, 한민호, 박보경, 권석진, “스파이럴 안테나의 축비 개선을 위한 GND 슬릿의 설계”, 2016년도 한국전자과학회 하계종합학술대회 논문집, 4, 2016년 6월.
- [4] 손병국, 한민호, 민경식, 김성민, 박철근, 류주현, 이원빈, 박보경, 권석진, “개별급전을 가지는 다중대역 모노폴 안테나 설계”, 2016년도 한국전자과학회 하계종합학술대회 논문집, 4, 2016년 6월.
- [5] 금대섭, 민경식, 김성민, 문지현, 윤동현, 김동일, “반사판과 적층형 기생패치를 이용한 링 패치 안테나의 고이득 설계”, 2015년 한국전자과학회 하계종합학술대회, P-K-125, 2015년 8월.
- [6] 윤동현, 민경식, 김성민, 금대섭, 문지현, 나승욱, “다중공진대역에 적합한 후방부엽억제용 Rolled-up 구조 설계”, 2015년 한국전자과학회 하계종합학술대회, P-K-124, 2015년 8월.
- [7] 김성민, 민경식, 금대섭, 윤동현, 문지현, 김동일, “십자형 급전구조를 가지는 다중대역 모노폴 안테나 설계”, 2015년 한국전자과학회 하계종합학술대회, E-20, 2015년 8월.
- [8] 문지현, 민경식, 김성민, 금대섭, 윤동현, “스파이럴 안테나의 축비 개선을 위한 teflon lens의 설계”, 2015년도 마이크로파 및 전파전파 합동 학술대회,

- p. 100, 2015년 6월.
- [9] 금대섭, **김성민**, 문지현, 윤동현, 민경식, “이중 원형 링 패치를 이용한 다중 대역 안테나의 설계”, 2015년도 마이크로파 및 전파전파 합동 학술대회, p. 90, 2015년 6월.
- [10] 윤동현, 민경식, **김성민**, 금대섭, 문지현, “혼안테나의 후방 부엽 개선을 위한 rolled-up 구조 설계”, 2015년도 마이크로파 및 전파전파 합동 학술대회, pp.101, 2015년 6월.
- [11] **김성민**, 민경식, “유도결합을 이용한 모노폴 안테나의 측정”, 2014년도 한국전자과학회 종합학술발표회, p. 8, 2014년 11월.
- [12] 이진관, 강순근, 김예진, 강다일, 이장은, 박규형, **김성민**, 민경식, “인빌딩 통합중계기용 CPW급전 광대역패치 안테나의 설계”, 2014년도 한국전자과학회 하계학술대회 논문집, p. 333, 2014년 8월.
- [13] **김성민**, 민경식, “기생 폴을 이용한 다중공진용 모노폴 안테나의 특성연구”, 2014년도 한국전자과학회 하계학술대회 논문집, p. 44, 2014년 8월.
- [14] 민경식, **김성민**, 서철현, “Multiband Spiral Antennas for Non-Linear Device Detection”, Proceeding of the 2014 Asian Workshop on Antenna and Propagation, p. 32, May 2014.
- [15] 박찬진, **김성민**, 김인환, 민경식, “유전체 렌즈를 이용한 스파이럴 안테나의 고이득 설계”, 2014년도 마이크로파 및 전파전파 합동학술대회 논문집, p. 83, 2014년 5월.
- [16] **김성민**, 민경식, 강다일, “기생 폴을 이용한 인빌딩용 다중대역 안테나 설계”, 2014년도 마이크로파 및 전파전파 합동학술대회 논문집, p. 88, 2014년 5월.
- [17] **김성민**, 민경식, 김인환, “소방무선 대역을 포함한 인빌딩 중계기용 다중공진 안테나”, 2013년도 한국전자과학회종합학술발표회, p. 51, 2013년 12월.
- [18] 정재환, 민경식, 김정원, 박찬진, **김성민**, 김인환, “NLJD용 스파이럴 안테나의 측비 개선을 위한 그라운드 슬릿 설계”, 2012년도 한국전자과학회 전자파기술 하계 학술대회, p. 16, 2012년 7월.
- [19] 박찬진, 민경식, 김정원, 김인환, 정재환, **김성민**, 안철완, 권승구 “LTE-PIFA 단말기의 격리도 개선을 위한 Sub 안테나의 최적위치 설계” 2012년도 한국전자과학회 전자파기술 하계 학술대회, p. 15, 2012년 7월.

## 국제 학술대회 발표

- [1] **Sung-Min Kim**, Kyeong-sik Min, “Design for Multiband Relay Antenna with Parasitic Elements for In-building Mobile Communication”, ICCEM2015, pp. 115-117, Feb. 2015.
- [2] **Sung-Min Kim**, Kyeong-sik Min, “Multiband Antenna Composed of 1 Monopole 4 Parasitic Poles for In-building Mobile Communication”, 19th International Symposium on Antenna and Propagation, pp. 567-538, Dec. 2014.
- [3] **Sung-Min Kim**, Kyeong-sik Min, “Design for Multiband Monopole Antennas with Parasitic Elements for In-building Mobile Communication”, IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile 2014, p. 37, Aug. 2014.
- [4] Jae-Hwan Jeong, Kyeong-sik Min, In-Hwan Kim, **Sung-Min Kim**, “Multiband Spiral Antenna with High Gain by Conical Wall”, 2013 Asia-Pacific Microwave Conference, pp. 143-145, Nov. 2013.
- [5] In-Hwan Kim, Kyeong-Sik Min, Jae-Hwan Jeong, **Sung-Min Kim**, “Circularly Polarized Tripleband Patch Antenna for Non-Linear Junction Detector”, 2013 Asia-Pacific Microwave Conference, pp. 140-142, Nov. 2013.
- [6] Jae-Hwan Jeong, Kyeong-Sik Min, In-Hwan Kim, **Sung-Min Kim**, “High Gain Spiral Antenna with Conical Wall”, 2013 International symposium on antennas and propagation, pp. 723-724, Oct. 2013.