

# 0.6~6 GHz 초 광대역 쿼드릿지 혼 안테나 설계

## Design of 0.6~6 GHz Ultra Wideband Quad-ridge Horn Antenna

최철진\* · 이문희\* · 손태호†  
(Cheoljin Choi · Moonhee Lee · Taeho Son)

**Abstract** – In this paper, a 0.6~6GHz quad-ridge horn antenna which can be used for the antenna measurement of 5.8GHz WiFi system from lowest frequency band of mobile LTE (Long Term Evolution) is designed and implemented. The quad-ridge horn antenna has quadruple ridges of exponential function, a back-short and a cavity. Based on this structure, we design the cavity size, ridge gap and feed gap to have broadband characteristics. For implementation, the plates material of aluminum and copper are used for the horn and four ridges, respectively. And the insulator supports are used to maintain the gap between ridges. By measurement, antenna has the gain of 6.2~13.35dBi with the return loss of less than -6dB (under VSWR 3 : 1) in the entire design band. The results of this study can be widely used to the antenna studies on the mobile communication including low frequency band of LTE, the EMI measurement and the standard calibration measurement.

**Key Words** : Horn antenna, Quad-ridge horn, Cavity, Wideband, Back-short

### 1. 서 론

현재 생활에서 정보통신기기의 사용이 급격히 증가하고 높은 데이터 처리 속도가 요구되고 있다. 이에 맞추어 개인이 사용하는 단말기뿐만 아니라 중계기의 기기도 광대역 기술이 필요하다. 이에 따라 광대역 통신 방식이 각광받고 있으며, UWB(Ultra Wide Band) 통신 방식 등이 상용화 단계에 있다[1]. 현재까지 다양한 형태의 UWB 안테나가 제안되었고, 대표적인 구조로 다이폴, TEM (Transverse Electro Magnetic) 혼, 슬롯 안테나 등이 있다. 그중에서 혼 안테나는 이득이 높아 천문관측, 위성통신에 사용되는 각종 반사판 안테나의 급전 안테나 또는 안테나의 특성을 측정하는 표준 안테나로 널리 이용되고 있으며[2][3], 혼 안테나는 높은 지향성과, 원거리 영역에서의 적은 위상변화 때문에 UWB 통신 표준화 동향에 맞추어 연구 및 개발의 필요성이 더욱 증가하고 있다[4]. 또한, 마이크로파 측정, 무반사실 측정, 레이더 및 탐지 시스템에 광범위하게 사용되고 있으며, 점차적으로 넓은 주파수 대역 폭뿐만 아니라 다양한 편파가 가능한 안테나를 요구하는 추세이다[5]. 그러나 일반적으로 혼 안테나는 야외시험장(OATS : Open Area Test Site)에서 전자계 강도를 측정할 때 방송이나 이동통신 등 많은 주파수 대역에 간섭받고 환경잡음이 일정하지 않아 정확한 측정이 어렵다. 이러한 단점을 극복하기 위해서 높은 신뢰성을

갖는 EMC 챔버를 제작하여 특성을 측정하고, 안테나로 쿼드릿지 (quad-ridge) 혼 안테나가 적용되며, 소형화 및 성능 개선에 대한 연구가 진행되고 있다[6]-[9]. 혼 안테나는 각종 반사판 안테나의 급전용 안테나로 널리 적용되고 있으며, 혼의 입력부에 급전된 신호전력을 금속 혼을 통하여 자유공간에 방사함으로써 도파관의 폭, 릿지 두께, 릿지 사이의 간격, 혼의 길이, 급전 위치에 따라서 높은 이득 특성을 구현할 수 있다.

본 논문에서는 사각형 혼 안테나에 4중 날을 추가하여 광대역 특성을 갖는 쿼드릿지 혼 안테나를 설계한다. 4중 날은 서로 대칭으로 설계하고, 이는 수평, 수직 편파 수신 시 동일한 방사패턴 특성을 갖는다. 제안된 쿼드릿지 혼 안테나는 백 쇼트(back-short)를 이용한 캐비티(cavity) 구조를 가진다. 백 쇼트 및 캐비티 구조의 크기와 함께 릿지 간격 및 급전간격을 조절하여 안테나의 주파수 대역을 기존보다 더 넓은 대역으로 개선할 수 있음을 보인다. 제안 안테나는 LTE 밴드의 가장 낮은 주파수인 CH12(698-746MHz)에서 WiFi 5.8GHz 대역까지 사용할 수 있는 0.6~6GHz의 주파수 범위에서 동작하도록 설계한다. 본 논문에서 제안된 쿼드릿지 혼 안테나를 설계하기 위하여 EM 시뮬레이션 툴인 Ansoft사 HFSS(High Frequency Structure Simulator)를 사용한다. 제작된 쿼드릿지 안테나의 혼은 알루미늄, 4개의 릿지는 동판으로 구현하며, 제작 시 4개의 릿지 사이의 간격이 안테나 특성에 많은 영향을 끼치므로 4개의 릿지 사이를 고정할 수 있는 절연체 지지대를 사용한다. 제작된 쿼드릿지 혼 안테나는 Agilent사의 네트워크 분석기 및 MTG사의 무반사실에서 안테나의 제반 특성을 측정한다. 본 논문의 구성은 2장에서 제안 안테나에 대한 구조와 설계에 대해서, 3장에서 안테나에 대한 제작과 측정 결과를 나타내며, 결론을 4장에서 맺는다.

† Corresponding Author : Dept. of IT Engineering, Soonchunhyang University, Korea.

E-mail: thson@sch.ac.kr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6817-2026>

\* Dept. of IT Engineering, Soonchunhyang University, Korea.

Received : August 24, 2018; Accepted : November 29, 2018

## 2. 제안 안테나 구조

그림 1은 제안 안테나의 전체 구조를 나타낸 모습이다. 안테나는 광대역 특성을 위해 4개의 릿지와 혼, 캐비티로 이루어진 안테나를 설계한 그림의 전체 모습이며, 표 1에 치수를 나타내었다. HFSS 시뮬레이션으로 설계한 제안 안테나의 전체 크기는 245.4mm(A1) × 245.4mm(A2) × 245.7mm (A3)이며, 119.2mm × 241mm 크기의 4개의 지수함수형 릿지의 완만한 날을 서로 대칭으로 설계하였다. 이는 수직으로 전계가 형성되며, 지향성을 확보할 수 있다. 245.4mm × 210mm 크기의 혼은 도파관 속을 전파하는 전자파를 서서히 넓히면서 개구면으로 인도해 외부 공간으로 방사시켜 지향성과 광대역 특성을 갖게 된다. 120.4mm(C1) × 120.4mm (C2) × 35.7mm(D) 크기의 캐비티는 급전이 이루어지는 공간이며 전계 발생의 시발점으로 혼 안테나의 전체적인 결과에 영향을 미치기 때문에 크기와 위치를 적절히 설정하여야 한다. 그림 1에서 보는 것과 같이 혼 안테나에서 E면(y-z 평면)은 전계면으로 전계 벡터와 최대방사 방향을 갖는 면이며, H면(x-z 평면)은 자계면으로 자계 벡터와 최대방사 방향을 갖는 면이다. 캐비티의 혼은 E면에서 균일한 개구면 분포를 보이는 선형편파를 가지며, H면에서는 cosine 분포를 갖는다. radial 모양으로 전파

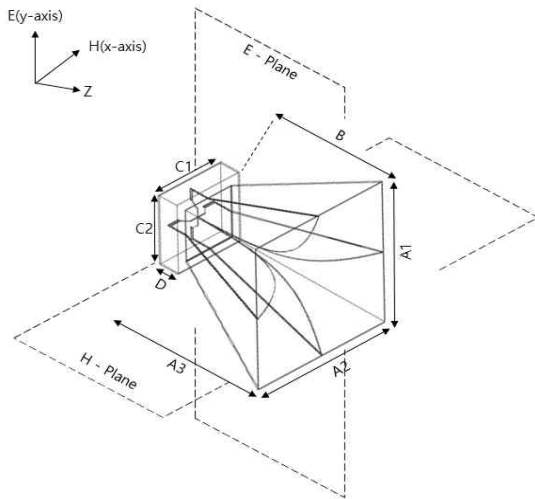


그림 1 제안 안테나의 구조

Fig. 1 Structure of proposed antenna

표 1 제안 안테나의 치수

Table 1 Dimensions of proposed antenna.

Symbol	Description	Dimension(Mm)
A1	horn width 1	245.4
A2	horn width 2	245.4
A3	total length	245.7
B	horn length	210
C1	cavity width 1	120.4
C2	cavity width 2	120.4
D	cavity height	35.7

가 진행하기 때문에 일반적으로 모든 면에 대하여 개구면에서는 2차 위상분포를 갖는다.

제안 안테나의 4개의 릿지 사이의 간격, 4개의 릿지 두께, 도파관의 폭, 급전 위치에 따른 특성변화를 설명하기 위해 본 논문에 기재한다. 각각 변수에 따라 반사손실의 특성이 변하게 된다.

그림 2는 제안 안테나의 릿지 구조 및 수치를 나타낸 모습이다. 릿지의 곡선  $z(y)$ 는 위의 식 (1)과 같은 지수함수 방정식을 사용하여 그림 2와 같은 구조를 나타낼 수 있다.

$$z(y) = Ae^{ky}$$

$$k = \frac{1}{L} \ln\left(\frac{Z(L)}{A}\right) \quad (1)$$

식 (1)에서 k는 혼의 길이인 L과 개구의 크기 Z(L)에 의해 얻을 수 있는 상수 값이며, A는 릿지와 릿지 사이의 간격의 반이 되어야 한다. 혼이 사용되는 목적에 따라 혼 개구 크기와 길이가 주어지면 식 (1)에 따라 릿지를 설계한다. 이후 쿼드릿 혼 안테나의 경우, 혼 후면의 백 쇼트 및 캐비티를 설계하여야 한다. 이때 중요한 것은 릿지 간격과 급전할 급전 지점을 정하는 것이다. 이들은 백 쇼트, 캐비티 돌과 서로 상호관계가 있기 때문에 광대역 특성을 얻도록 신중히 설계하여야 한다. 본 논문에서는 릿지 간격 변화에 의한 대역 특성을 먼저 구하고 백 쇼트 및 캐비티에 따른 최적 급전 지점을 구하도록 진행하였다.

그림 3은 릿지의 두께(S)와 간격(W)을 나타낸 그림이다. 혼 안테나의 광대역 특성과 2중 편파를 구현하기 위해 그림 3(a)와 같

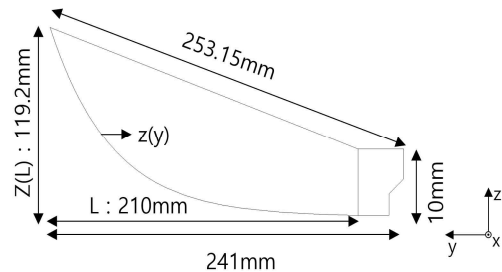


그림 2 릿지의 수치

Fig. 2 Ridge dimensions

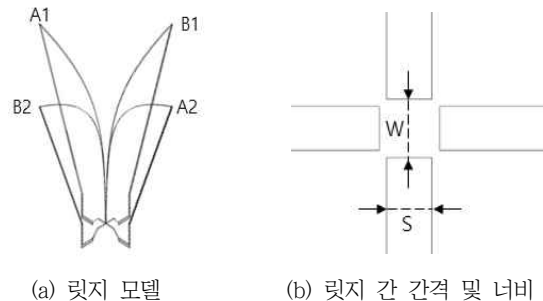


그림 3 안테나의 릿지 구조

Fig. 3 Ridge structure of antenna. (a) ridge model (b) gap and width between ridges

이 4개의 릿지 구조를 사용한다. 릿지 A1과 A2에 의한 수직 편파를, 릿지 B1과 B2에 의한 수평 편파를 발생시키기 위한 것이다. 급전 지점은 도파관 내부에 4개 릿지의 수직(A1, A2) 및 수평(B1, B2) 급전 포트가 구성된다. 이러한 구조로 인해 릿지 간의 간격이 변수가 되어 안테나의 임피던스의 특성이 변하게 된다. 4개의 릿지는 도파관의 내벽에 균등하게 배치되며 광대역 임피던스의 매칭을 통해 안테나 대역폭을 증가시킨다. 본 논문에서는 릿지의 두께가 넓을수록 안테나의 방사패턴을 열화시킬 수 있기 때문에 릿지의 두께를 1.2mm로 고정하였다. 설계 대역 내에서 50Ω의 특성 임피던스에 가깝도록 릿지 간의 간격 W를 조절하였다.

그림 4는 릿지 간격 W의 변화에 따른 반사손실의 변화를 나타내었다. 그림에서 보듯이 릿지 간의 간격이 증가할수록 2~5 GHz에서 반사손실이 증가함으로써 대역폭 특성이 나빠지는 것을 볼 수 있으며, 1.5GHz보다 낮은 주파수 대역은 반사손실 특성이 거의 유사함을 보이고 있다. 또한, 릿지 간의 간격이 감소함으로써 1~5GHz에서 대역폭 특성이 나빠지며, 5~6GHz에서는 좋은 대역 특성이 나타나고 있다. 따라서 릿지 간격 W가 1.6mm일 때 설계 대역에서 반사손실 -10dB 이하로 시뮬레이션 결과 본 논문에서는 릿지 간격을 1.6mm로 설계하였다.

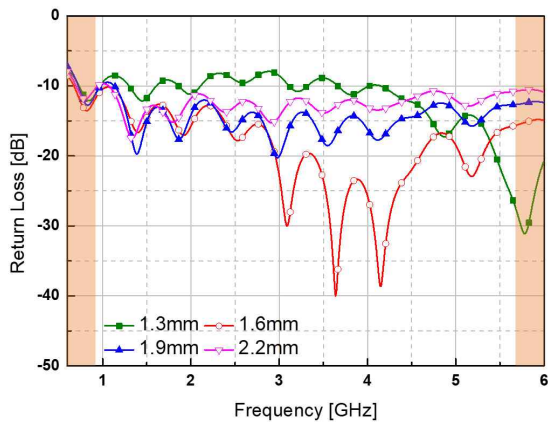


그림 4 릿지 간격 변화에 따른 반사손실 변화  
Fig. 4 Return loss as a function of ridge gap

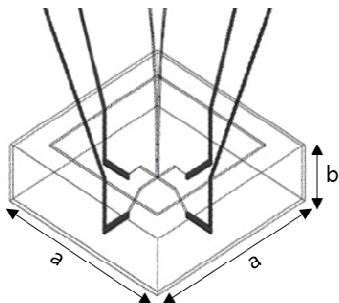


그림 5 캐비티 구조  
Fig. 5 Cavity structure

그림 5는 릿지 후면에 장착되는 백 쇼트 및 캐비티의 구조를 나타낸 모습이다.  $a \times a \times b$  크기를 갖는 캐비티의 폭 a는 공진모드의 차단주파수를 결정하며, 이로부터 모든 공진특성을 얻게 된다. 높이 b는 감쇠에 영향을 주게 된다. 릿지 혼 안테나에서 급전은 캐비티 내에서 이루어진다. 따라서 전계 발생의 시작점으로 안테나의 전체적인 임피던스특성에 영향을 끼치게 된다.

그림 6은 캐비티 구조 내 릿지 급전을 설명하기 위한 그림이다. 급전부는 그림 3에 나타낸 수직(A1, A2) 및 수평(B1, B2) 릿지에 급전하도록 이루어져 있다. 여기서  $P_1$ 은 수직 릿지의 급전 지점을,  $P_2$ 는 수평 릿지의 급전 지점을 표시한 것이다. 백 쇼트와 급전 지점  $P_1$  및  $P_2$  사이의 거리를  $D_1$  및  $D_2$ 로 표시한다. 우선 백 쇼트로부터 가까운  $P_1$ 의 급전 지점에서 최적의 반사손실을 확보한 후, 캐비티 구조의 변수( $K_1$ ,  $K_2$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ )의 위치를 조정함으로써 최적의 급전 지점인  $P_1$ 과  $P_2$ 을 구할 수 있다.

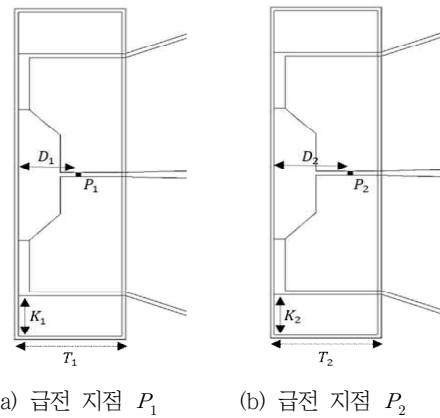


그림 6 급전 지점 단면도  
Fig. 6 Section view of feed points. (a) point  $P_1$  (b) point  $P_2$

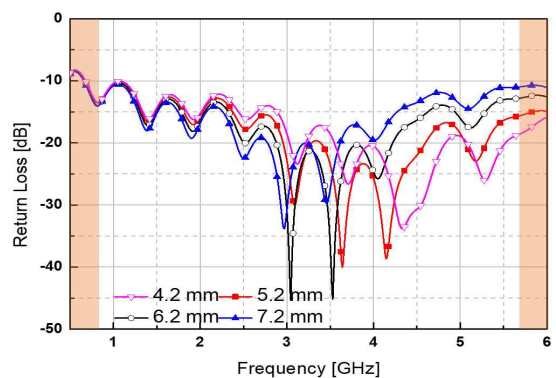


그림 7 급전 지점의 간격 변화에 따른 반사손실  
Fig. 7 Return loss as a function of feed points

그림 7은 급전 지점  $P_1$  및  $P_2$ 의 간격 변화에 따른 반사손실 변화를 나타낸 그림이다.  $P_1$  지점이 확정되면 고정된  $D_1$  상태에

서  $P_1$ 과  $P_2$ 의 간격을 변수로 대역 특성을 시뮬레이션한 것이다. 그림에서 보듯이 급전 지점의 간격이 멀어질수록 1.5~3.5GHz 대역에서 양호한 반사손실 특성을 보이고 있지만, 가까워질수록 높은 주파수 대역에서 넓은 대역 특성이 나타나고 있다. 따라서  $P_1$ 과  $P_2$ 의 간격이 5.2mm 일 때 가장 양호한 특성이 보이므로 백쇼트로부터 급전 지점  $P_1$ 까지의 간격인  $D_1$ 은 19mm로,  $P_2$ 까지의 간격인  $D_2$ 는 24.2mm로 설계하였다. 캐비티 벽에서 릿지까지의 간격인  $K_1$  및,  $K_2$ 는 공히 15mm로, 캐비티의 높이인  $T_1$  및  $T_2$ 는 35.7mm로 정하였다.

### 3. 안테나 제작 및 측정

그림 8은 시뮬레이션 설계를 바탕으로 설계하여 이를 제작한 안테나 사진이다. 앞의 설계 이론을 바탕으로 제안된 안테나의 개구면 크기는 표 1과 같고, 혼과 캐비티의 재질은 알루미늄으로, 릿지는 동판으로 제작하였다. 혼의 두께가 넓은 경우, 신호의 산란 및 표면 전류에 의해 불요방사가 발생 되어 안테나의 방사패턴을 열화시킬 수 있다. 이를 방지하기 위해 본 논문에서는 혼의 두께를 1.2mm로 하였다. 또한, 4개의 릿지 사이를 고정할 수 있는 절연체 지지대를 사용하였으며, 이는 릿지 사이의 간격이 안테나 특성에 많은 영향을 끼치므로 제작 시 발생할 수 있는 오차를 줄이기 위해서이다. 그림에서 보듯이 릿지는 수직(A1, A2) 및 수평(B1, B2)으로 총 4개이며, 그림 6의 시뮬레이션과 같은 급전 지점에 동축선으로 급전하였다.

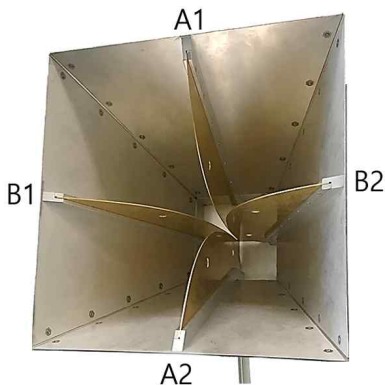
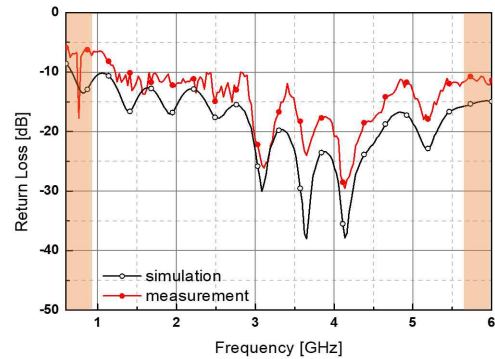
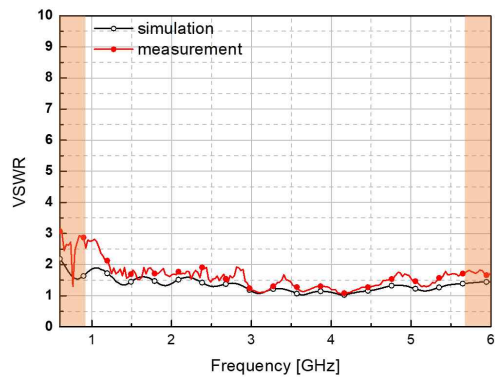


그림 8 제작된 쿼드릿지 혼 안테나  
Fig. 8 Implemented a quad-ridge antenna

그림 9는 안테나에 대한 반사손실과 정재파비(VSWR)를 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 비교한 그림이다. 측정은 Agilent사의 네트워크 분석기를 이용 하였으며, 반사손실 및 정재파비 모두 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 전체적으로 일치하고 있다. 반사손실 측정은 관심 대역인 LTE 밴드의 가장 낮은 주파수인 CH12(698-746MHz)에서 WiFi 5.8GHz 대역까지 사용할 수 있는 설계 대역인 0.6~6GHz 범위에서 -6dB 이하 (VSWR 3 : 1 이



(a) 반사손실



(b) 정재파비

그림 9 제작된 안테나의 반사손실과 정재파비  
Fig. 9 Return loss and VSWR of the Implemented antenna.  
(a) return loss (b) VSWR

하)를 만족하고 있다. 반사손실 -6dB 기준은 이동통신 기기에 대한 업체 적용 기준이다.

본 논문은 같은 용도로 사용되는 쿼드릿지 혼 안테나보다 더 넓은 대역을 나타내고 있으며[10], M사의 0.8~6 GHz 대역 특성을 보이는 쿼드릿지 혼 안테나에 비해 대역이 넓다.

그림 10은 제안된 혼 안테나의 방사패턴 시뮬레이션과 무반사실에서 측정한 결과를 나타낸 그림이다. 0.698 GHz, 3.0 GHz, 5.8GHz에서  $\phi = 90^\circ$  로 E-평면(y-z 평면)으로,  $\theta = 90^\circ$  일 경우 H-평면(x-z 평면)으로 측정된 결과이다. 시뮬레이션과 제작된 안테나를 비교한 결과 방사특성이 서로 잘 부합되고 있음을 보이고 있다. 혼 안테나에 대한 방사패턴의 시뮬레이션의 경우 주파수 0.698GHz, 3.0GHz, 5.8GHz에서 E-평면의 반전력 빔 폭은 평균  $62^\circ$ , H-평면의 반전력 빔 폭은 평균  $81.5^\circ$ 이며, 측정 결과에서 E-평면의 반전력 빔 폭은 평균  $43.8^\circ$ , H-평면의 반전력 빔 폭은 평균  $52^\circ$ 로 측정되었고, 주파수가 증가할수록 빔폭이 좁아진다. 그림 11은 주파수에 따른 이득변화를 나타낸 그림이다. 이득은 앞의 3개의 주파수에서 6.2dBi, 10.52dBi, 13.23dBi로 주파수 증가에 따라 이득이 증가하고 있다. 제작안테나에 대한 최대 이득은 5.9GHz에서 13.35dBi로, 최소 이득은 0.698GHz에서 6.2dBi가 측정되었다.

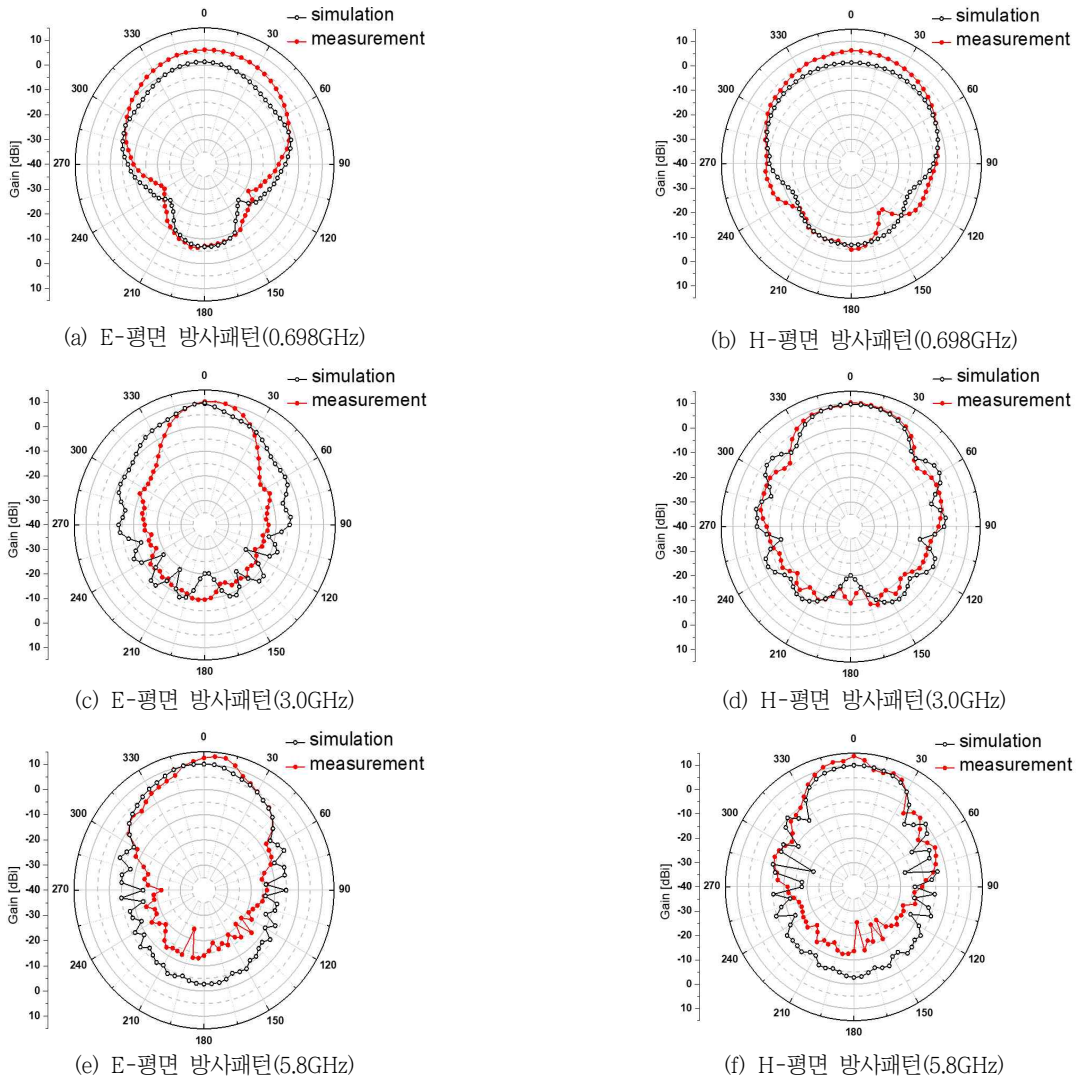


그림 10 제작된 혼 안테나의 방사패턴

Fig. 10 The radiation pattern of the Implemented horn antenna. (a) E-plane radiation pattern(0.698 GHz) (b) H-plane radiation pattern(0.698 GHz) (c) E-plane radiation pattern (3.0 GHz) (d) H-plane radiation pattern(3.0 GHz) (e) E-plane radiation pattern(5.8 GHz) (f) H-plane radiation pattern(5.8GHz)

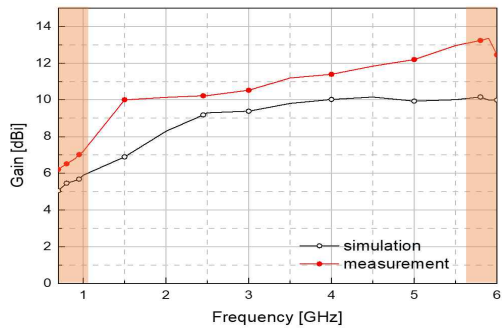


그림 11 주파수에 따른 이득변화

Fig. 11 Gain variation with frequency

#### 4. 결 론

본 논문에서는 LTE 밴드의 가장 낮은 주파수에서 WiFi 5.8GHz 대역까지 사용할 수 있는 0.6~6GHz의 주파수 범위에서 동작하는 쿼드릿지 혼 안테나를 설계하고 이를 제작하였다. 급전단은 도파관 내부에 지수함수 특성을 갖는 4개의 릿지에 수평 및 수직의 급전 포트가 구성되며, 백 쇼트를 이용한 캐비티 구조를 갖는다. 광대역 특성을 얻기 위하여 캐비티 크기를 조절하고 릿지 간격 및 급전간격을 최적화하여 반사손실을 개선하였다. 제작된 안테나 측정 결과 설계 대역에서  $-6\text{dB}$  이하 (VSWR 3 : 1 이하)를 만족하였으며, 무반사실에서 측정된 방사특성에서 이득은  $6.2\sim 13.35\text{dBi}$ , 빔폭은 E면에서  $25^\circ\sim 75.5^\circ$ , H면에서  $27^\circ\sim$

83.1° 특성을 얻었다. 이는 측정 결과가 설계치와 잘 맞고 있음을 보이고 있다. 제작된 쿼드릿지 혼 안테나는 작은 크기이면서도 광대역 특성을 보이고 있기 때문에 이동통신용 안테나 방사측정 챔버 혹은 EMI 측정실 등에 폭넓게 적용될 수 있을 것으로 생각한다.

**감사의 글**

이 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업(2015023260) 및 순천향대학교 지원을 받아 수행된 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

**References**

- [1] L. Yang, G. B. Giannakis, "Ultra-wideband communications", *IEEE Signal Proc. Mag.*, Vol. 21, pp. 26-54, Nov. 2004.
- [2] Hans G. Schantz, Jae Jeon, "Standard Gain UWB planar horn antennas", *2012 IEEE International Conference on Ultra-Wideband*, pp. 370-374, November 2012.
- [3] E. V. Jull, "Reflection from the aperture of a long E - plane sectoral horn", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, Vol. AP-20, pp. 62-68, January 1972.
- [4] H. Schantz, *The Art and Science of Ultra-Wideband antennas*, London: Artech House, 2005.
- [5] C. A. Balanis, *Antenna Theory-Analysis and Design*, 3rd Ed., John Wiley and Sons, 2005.
- [6] Mohamed A. Elmansouri, and Dejan S. Filipovic, "Miniaturization of TEM Horn Using Spherical Modes Engineering", *IEEE Trans. Antennas Propagation*, Vol. 64, No. 12, pp. 5064-5073, December 2016.
- [7] G. Oliveri, E. T. Bekele, M. Salucci, and A. Massa "Transformation Electromagnetics Miniaturization of Sectoral and Conical Metamaterial-Enhanced Horn Antenna", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, Vol. 64, No. 4, pp. 1508-1513, April. 2016.
- [8] D. Ramaccia, F. Scattone, F. Bilotti, and A. Toscano, "Broadband compact horn antennas by using EPS-E NZ Metamaterial Lens", *IEEE Trans. Antennas Propagation*, Vol. 61, No. 6, pp. 2929-2937, Jun. 2013.
- [9] D.-H. Kwon and D. H. Werner, "Transformation electromagnetics: An overview of the theory and applications", *IEEE Antennas Propagation, Mag.*, Vol. 52, No. 1, pp. 24-46, Feb. 2010.
- [10] Ashish Rojatkhar, Subramaniam Ananthkrishnan, "Quad-Ridge Horn Antenna Analysis and Design for Radio Astronomy Applications", 2011 Indian Antenna Week.

**저 자 소 개**



**최철진 (Cheoljin Choi)**

2017년 2월: 순천향대학교 정보통신공학과 (공학사). 2017년 3월~현재: 순천향대학교 정보통신공학과 석사과정.  
[주 관심분야] 안테나 및 전자파 이론, Horn Antenna



**이문희 (Moonhee Lee)**

2015년 2월: 순천향대학교 정보통신공학과 (공학사). 2017년 2월: 순천향대학교 정보통신공학과(공학석사). 2017년 2월~현재: 순천향대학교 정보통신 공학과(박사과정)  
[주 관심분야] 마이크로파공학, 안테나



**손태호 (Taeho Son)**

1979년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학사). 1986년 2월: 한양대학교 전자통신공학과(공학석사). 1990년 2월: 한양대학교 전자통신공학과(공학박사). 1978년~1987년: 금성정밀(주) 중앙연구소 선임연구원. 1980년~1981년: 영국 Ferranti 연구원. 1992년~1994년: 천문우주연구원 객원연구원. 1999년~2000년: 한국 ITS학회 회장. 2002년~2017년: (주)에스비텔레콤, (주)하이트랙스, (주)스카이크로스 기술고문. 1990년~현재: 순천향대학교 정보통신공학과 교수  
[주 관심분야] 위성통신, 휴대폰 안테나 설계, 자동차용 전장품 개발