

K/Ka 대역에서의 LTCC를 이용한 송수신 겸용 L형태 광대역 원형 편파 안테나

Design of TX/RX Broadband L-Type Circular Polarization Antenna using LTCC at K/Ka Band

오민석 · 천영민 · 김성남 · 이종문* · 표철식* · 최재익* · 천창을

Min-Seok Oh · Yung-Min Cheon · Sung-Nam Kim · Jong-Moon Lee* ·
Cheol-Sig Pyo* · Jae-Ick Choi* · Changyul Cheon

요 약

본 논문에서는 LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic) 공정을 이용한 K/Ka 대역(20~21 GHz/30~31 GHz) 위성통신 송수신 겸용 L형태의 광대역 원형편파 안테나를 제안하였다. 이 안테나는 상대 유전율이 5.2인 LTCC 공정을 이용하여 제작되었으며 적층형 구조로서 다른 RF 회로와 집적화가 가능하다. 또한 LTCC을 이용하였으므로 가벼우면서 다른 RF 회로와의 집적화를 통해 손실을 줄일 수 있고, 전체적으로 시스템 크기를 줄일 수 있다. 본 논문에서 사용한 안테나는 모노폴 안테나의 구부러진 L형태의 간단한 구조로서 LTCC 공정상에서의 구현을 쉽게 하고 손실을 최소화할 수 있도록 하였다.

Abstract

The TX/RX broadband L-type circular polarization antenna using LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic) for satellite communication at K, Ka band(20~21 GHz/30~31 GHz) has been presented. This antenna has been analyzed in compensation for LTCC with relative permittivity 5.2 and could have been integrated with RF component. Also antennas on LTCC enable to reduce loss of RF system due to integrate with RF circuits and to light weight, and thus, generally one can reduce size of the RF system. As the geometry of this antenna presented is made simple by L type of monopole antenna, it is easily manufactured by LTCC progress and enables to reduce loss.

Key words : LTCC, RX/TX Dual Antenna, Small Size of System, Light Weight, Integration

I. 서 론

위성통신에 관한 수요가 증가하고 발달함에 따라 그에 맞는 안테나 개발이 시급하다. 또한 기존에 Ku 대역에서 수행되던 위성통신 및 위성방송의 주파수 대역이 향후 K/Ka 대역으로 이동할 전망으로 그에 맞는 위성 안테나 개발이 불가피하게 되었다. 또한

편파의 특성으로는 위성통신에 사용되기 위해 극성 변화가 우려되는 통신환경 즉, 위성과 지상 간 그리고 우천시 전송 특성이 우수한 원형 편파를 구현할 수 있어야 하며, 송수신 주파수 대역이 다른 것을 감안하여 두 주파수 대역에서 서로의 간섭을 받지 않도록 적절한 격리도를 가지고 동작할 수 있는 구조의 안테나가 요구되고 있다. 본 논문에서는 K/Ka 대

「이 연구는 2003학년도 한국전자통신연구원 연구비의 지원으로 연구되었음.」

서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부(Department of Electrical & Computer Engineering, University of Seoul)

*한국전자통신연구원 전파방송연구소 전파기반연구부 안테나기술연구팀(Antenna Technology Research Team Advanced Radio Technology Department Radio & Broadcasting Research Laboratory, ETRI)

· 논문 번호 : 20040513-069

· 수정완료일자 : 2004년 8월 18일

역에서 안테나 Tx, Rx 모듈의 집적화를 이루기 위해 적층형 방식을 이용하는 LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic) 공정을 이용하였다. LTCC의 장점은 고유전율의 재료를 사용함으로써 다른 RF 소자들의 크기를 줄일 수 있고, 작아진 크기로 인해 집적화가 유리하다는 것이다. 또한 적층형 방식을 사용함으로써 RF 소자들의 집적화를 더욱 효과적으로 할 수 있다는 장점도 가지고 있다^[1]. 그러나 고유전율의 재료를 사용함에 따라 협대역 특성과 본 논문에서 사용하고자 하는 이중 급전 방식에서 낮은 격리도 특성을 가질 수 있다는 단점도 있다. 낮은 격리도 특성과 협대역 특성을 개선하기 위해선 낮은 유전율의 재료를 사용하여야 하나 이는 전체 소자의 크기를 증가시키는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 LTCC 장점을 활용하면서 협대역 특성과 낮은 격리도 특성을 보완할 수 있는 방법을 찾고자 하였다. 이러한 LTCC의 장점과 단점을 잘 보완할 수 있는 안테나 구조로서 슬롯을 이용한 L형태의 원형 편파 안테나는 방사되는 곳 전면이 도체로 이루어져 있으므로 LTCC 공정을 사용함에 있어서 유전체간 접합 상에 어려움이 있고, 도체면 전체적으로 전류가 흐를 수 있으므로 송신 안테나와 수신 안테나 사이의 높은 격리도를 얻기 힘들다^[2]. 따라서 본 논문에서는 이와는 다른 도체 라인을 이용하여 L형태로 구부린 모노폴 형태의 안테나를 제시하였다. 본 논문에서 제시한 안테나 구조는 모노폴 안테나를 구부린 형태를 취하였으며 이는 구부림으로서 실제 LTCC 공정으로 구현하는 것을 가능하게 하였고, L형태를 취함으로써 원형 편파가 이루어지도록 하였다. 또한 간단한 구조를 택함으로써 LTCC 상에서 발생하는 공정 오차와 손실을 줄일 수 있도록 본 구조를 제시하였다. 제시된 구조는 안테나의 전계 분포를 고려하여 안테나를 배치함으로써 두 송수신 안테나간의 높은 격리도를 얻을 수 있었다. 본 논문에서 제시한 송수신 겸용 L형태의 원형 편파 안테나는 K/Ka 대역에서 각각 20~21.5 GHz($\Delta 1.5$ GHz : 7.5% : LHCP)과 30~31.5 GHz($\Delta 1.5$ GHz : 5% : RHCP)의 대역을 얻었고, 이득은 K 대역에서 4~5.5 dBi와 Ka 대역에서 1.38~3.67 dBi를 얻었다^[3].

II. 안테나 설계 및 제작

LTCC 공정을 이용한 원형 편파 안테나를 설계하기 위해서는 다음과 같은 조건들이 만족되어야 한다. 첫째는 전체적인 안테나 구조가 LTCC 공정에 맞는 다층구조를 선택하여야 한다. 둘째는 두 개의 공진모드가 형성되어야 하며 두 모드의 크기는 같고 위상이 90° 차이가 나야만 한다. 이러한 조건을 만족시키기 위해 크기가 같은 두개의 선형편파에 90°의 위상차가 생기도록 하는 구조로 그림 1과 같은 구조를 선택하였다. 이 구조는 1λ 에 해당하는 모노폴 안테나를 설정하고 $\lambda/2$ 되는 가운데 부분을 구부려 급속 평면이 접지면과 평행이 되도록 설계하였고 안테나와 접지간의 거리를 $\lambda/4$ 로 설정함으로써 안테나에서 방사되는 전파와 접지면에서 반사된 파의 위상이 더해지도록 하여 높은 이득을 얻을 수 있도록 구조를 제안하였다^[4]. 여기서 접지면과 안테나 사이 부분의 복사 영향을 보았을 때, $\lambda/4$ 의 모노폴 안테나의 경우 끝이 오픈으로 강한 복사가 일어나는 현상을 이용하지만 본 논문에서 제시한 구조는 접지면에서 $\lambda/4$ 되는 지점이 오픈이 아니므로 강한 복사는 일어나지 않지만 구조의 불연속으로 인한 약한 복사는 일어나리라 예상된다. 그러나 그 부분에서의 복사가 전체적으로 주 안테나의 복사에 비해 미약하기 때문에 전체적인 주 안테나의 복사에는 큰 영향을 미치지 않으므로 높이를 $\lambda/4$ 로 설정하여 이득을 개선하도록 하였다. 급전은 측정과 다른 RF 구성요소와 결합함에 있어서 용이하게 하기 위해서 마이크로 스트립 라인 급전을 선택하였다. 안테나의 동작은 안테나의 가운데 부분을 L형태로서 구부림으로 급전부분과 연결된 첫 번째 직선 라인에서 첫 번째 공진 모드가 생성되고, 그 다음 90° 꺾인 안테나의 직선 라인에서 두 번째 공진 모드가 형성된다. 90°의 위상차는 L형태를 취함으로써 각각의 공진 모드 사이에 90° 차이 나도록 하여 원형 편파가 되기 위한 조건을 만족하였다^[6]. 또한 원형 편파 안테나를 이용한 송수신간에는 전계가 어느 한쪽 방향으로 형성하면서 진행하므로 송신과 수신에서 각각 그에 맞는 전계 방향이 요구된다. 송수신간에 격리도는 안테나 편파인 RHCP와 LHCP를 이용하여 송신에서 RHCP로 신호를 보내면 수신에서는 RHCP로 받아야만 송신 신호를 받을 수 있고, 송신에서 LHCP로 신호를 보내면 수신에서는 LHCP로 받아야만 송신 신호를

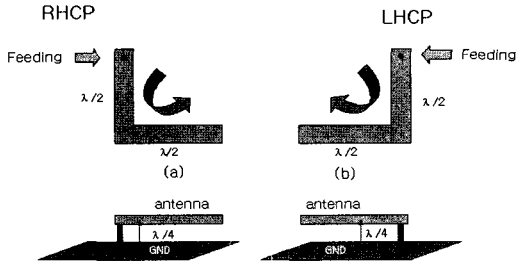


그림 1. L형태 안테나의 구조 및 급전
Fig. 1. Geometry and feeding of L type Ant.

받을 수 있으므로 격리도를 향상시킬 수 있다^[7]. 이러한 두 타입의 구조는 그림 1(a)와 같이 급전을 하면 RHCP가 발생하고, 그림 1(b)와 같이 급전하면 LHCP가 발생하므로 급전의 위치를 통해 RHCP와 LHCP를 구현하였다.

본 안테나는 LTCC 유전율 : 5.2, 전체크기 10×9.8 mm, 안테나 길이를 각각 $\lambda/2$, 안테나와 기판 사이의 두께는 $\lambda/4$ 로 설정하고, 시뮬레이션은 Microwave-studio(CST4.0)를 이용하여 $h=1.75$ mm, $h_1=1.15$ mm, $h_2=1.45$ mm, $L_1=1.541$ mm, $L_2=1.776$ mm, $L_3=2.551$ mm, $L_4=2.016$ mm, $P_1=2.2$ mm, $P_2=1.3$ mm, $P_3=3.39$ mm, $P_4=4$ mm와 같은 최적의 값을 얻어 설계하였다. 안테나의 배치는 그림 2와 같이 하였다. 이것은 안테나의 전계가 L형태의 안테나를 통해 돌면서 강한 전계가 생성되어 퍼져나감으로 송수신안테나의 전계가 서로 반대로 퍼져 나갈 수

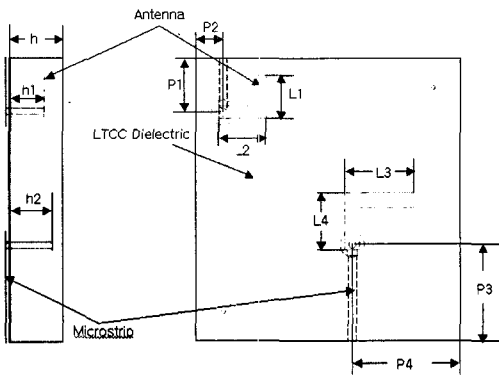


그림 2. 시뮬레이션 상에서의 LTCC(유전율 : 5.2) 공정을 이용한 L형태 광대역 원형편파 안테나
Fig. 2. L type broadband circular polarization antenna using LTCC(permittivity : 5.2) progress in the simulation.

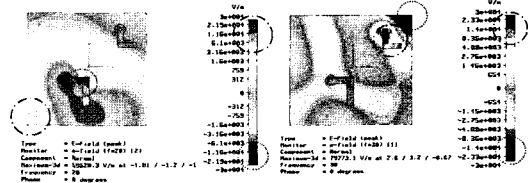
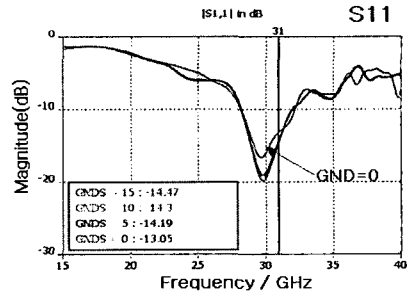
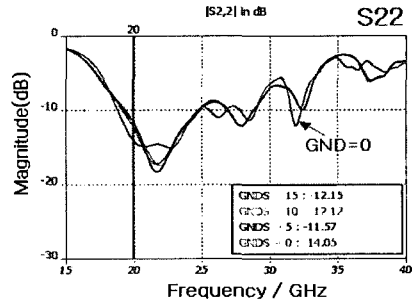


그림 3. 시뮬레이션을 통해 얻은 20 GHz, 30 GHz에서의 전계분포

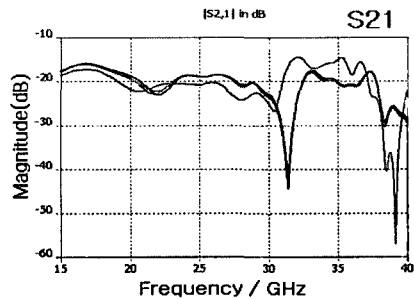
Fig. 3. E-field pattern at the 20 GHz and the 30 GHz in the simulation.



(a) S11



(b) S22



(c) S21

그림 4. 시뮬레이션 상에서 측정을 위한 기판 접합 시 기판 크기에 따른 반사손실과 격리도

Fig. 4. The return loss and isolation of the LTCC antenna combined with substrate size change in the simulation.

있도록 위치를 잡고 모서리 부분에 위치함으로써 안테나와 모서리 부분이 직사각형 형태를 이루어 안정적으로 원형 편파가 생성되도록 배치하였다. 이에 대한 전계 분포는 그림 3에서 안테나와 모서리 부분에서 강하게 나타남을 확인할 수 있으며 전계가 안정적으로 형성되었을 때 다른 안테나 쪽으로 전계 영향을 덜 미치게 되는 것을 알 수 있다. 전계 분포가 안정적인 원형 편파형태로 형성이 되지 않는다면 전계가 분산되는 경향이 있고, 그에 따라 다른 쪽 안테나에 영향을 미치게 되어 격리도가 악화될 수 있다. 따라서 안테나를 서로 간의 전계 간섭이 적은 그림 3과 같이 안테나를 배치하였다.

그림 4는 시뮬레이션 상에서 측정을 위한 기판을 부착 시 기판의 크기를 5 mm씩 증가함에 따른 반사 손실을 나타내는 것이다. 이 결과에서 볼 수 있는 것과 같이 기판의 크기가 5 mm 증가 이후는 거의 반사 손실에 영향을 미치지 않았다. 따라서 커넥터의 접합과 측정시 영향을 줄이기 위해서 LTCC 안테나로부터 1λ 이상 떨어진 기판의 크기를 40×40 mm로 하였고 그에 대한 시뮬레이션에서의 반사손실과 격리도는 그림 5와 같다. 여기서 S11은 K 대역 송신 안테나, S22는 Ka 대역 수신 안테나, S21, S12는 송수신 안테나간의 격리도를 나타낸다. 또한 그림 5에서 송수신 겸용 LTCC 안테나의 격리도는 K 대역(20~21 GHz, LHCP)와 Ka 대역(30~31 GHz, RHCP)에서 각각 20 dB 이상 되는 것을 알 수 있다. 안테나의 방사 패턴은 그림 6에 나타내었으며 시뮬레이션에서

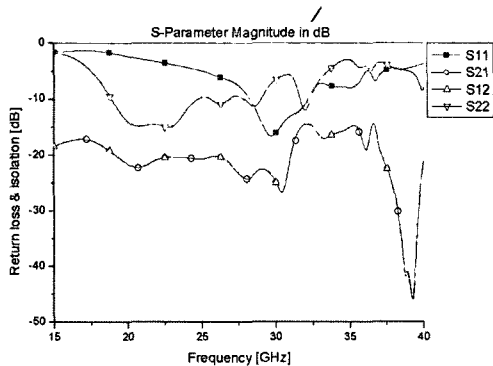
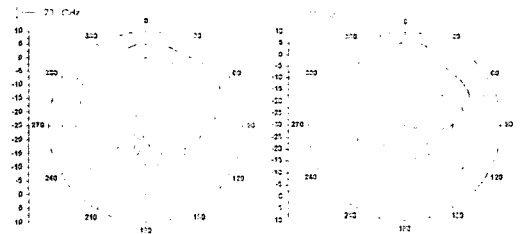


그림 5. 시뮬레이션에서의 LTCC 안테나의 반사손실과 격리도
 Fig. 5. Return loss and isolation of the LTCC antenna in the simulation.



(a) 20.5 GHz에서의 E-plane (b) 30 GHz에서의 E-plane
 (a) E-plane at the 20.5 GHz (b) E-plane at the 30 GHz

그림 6. LTCC 안테나의 시뮬레이션 E-plane
 Fig. 6. Simulation E-plane of the LTCC antenna.

표 1. 시뮬레이션에서 LTCC 안테나의 VSWR (2:1), 원형편파 대역, 이득

Table 1. VSWR (2:1), Circular polarization bandwidth and gain of LTCC antenna in the simulation.

| | K 대역 | Ka 대역 |
|---------------------------------|---------------------|---------------------|
| VSWR(2:1) | 18.9~22 GHz | 28~31.3 GHz |
| 원형편파 대역(GHz) | 19.8~22.5 (Δ2.7) | 28~31.2 (Δ3.2) |
| 원형편파 대역(GHz) /VSWR(2:1) 대역(GHz) | 2.7 : 3.1 = 87 % | 3.2 : 3.3 = 97 % |
| 이득(dBi) | 5.7~6 | 2.7~4.1 |

의 안테나의 임피던스 대역, 원형편파 대역, 원형편파 대역 대 임피던스 대역과 이득은 표 1과 같이 얻었다.

III. 안테나 제작 및 측정결과

그림 7은 시뮬레이션에서 얻은 수치로 LTCC 공정을 이용해 실제로 제작한 안테나이다. 실제 공정으로 만들어진 안테나의 수치와 설계치의 비교는 표 2에 나타내었다.

표 2에서 설계치와 실제 제작치가 차이 나는 것을 볼 수 있다. 이러한 차이는 LTCC 공정 중 소성과정에서 안테나를 소성시킬 때 물질의 수축률에 따른 오차로 인해 발생한 것이며 이와 같은 오차는 20 GHz 대역보다 30 GHz 대역에서 더 큰 영향을 미칠 수 있다. 이는 20 GHz와 30 GHz 대역에서 유전율 (5.2)을 고려한 1λ가 각각 6.58, 4.38 mm로 30 GHz가 20 GHz보다 λ가 짧기 때문이다. 따라서 측정치

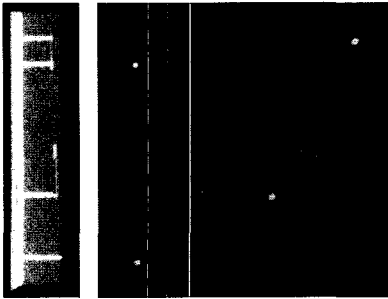


그림 7. LTCC(유전율 : 5.2) 공정을 이용해 제작된 L형태 광대역 원형 편파 안테나

Fig. 7. Manufactured L type broadband circular polarization antenna using LTCC(permittivity : 5.2) progress.

표 2. 시뮬레이션과 제작된 안테나의 크기 비교

Table 2. Size comparison of antenna simulated and manufactured.

| | 설계치 | 제작치 |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 안테나 전체크기 | 9.8×10 mm | 9.5×9.7 mm |
| 20 GHz에 대한 안테나 길이 | 2.016, 2.551 mm | 1.9, 2.4 mm |
| 30 GHz에 대한 안테나 길이 | 1.776, 1.541 mm | 1.6, 1.45 mm |
| 20 GHz에 대한 안테나와 기판 두께 | 1.45 mm | 1.4 mm |
| 30 GHz에 대한 안테나와 기판 두께 | 1.15 mm | 1.1 mm |

에서 설계치보다 작게 제작되었으므로 그에 따라 그림 10과 같이 30 GHz 대역에서 공진주파수가 고주파로 이동하였다.

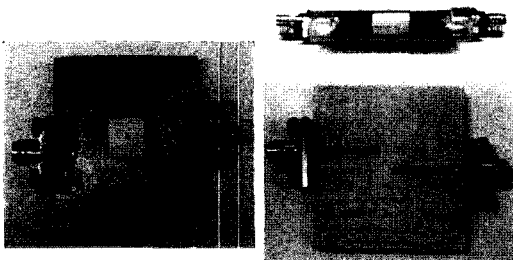


그림 8. 안테나 측정을 위한 기판과 커넥터가 부착된 LTCC 안테나

Fig. 8. The LTCC antenna combined with a substrate and a connector in order to measurement.

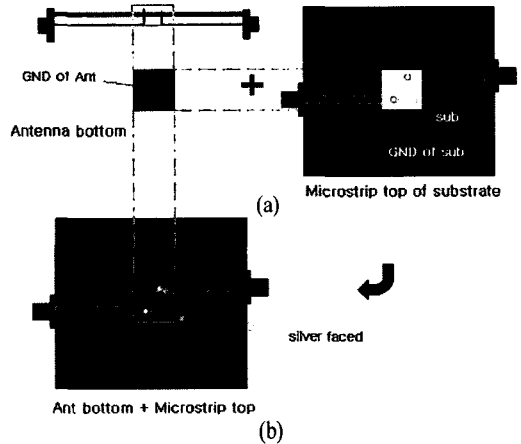


그림 9. LTCC 안테나와 측정 기판 부착 방법 (a) LTCC 안테나와 기판 부착방법, (b) LTCC 안테나와 측정기판 부착

Fig. 9. Combination method between the LTCC antenna and a substrate in order to measurement (a) Combination method the LTCC antenna with a measurement substrate, (b) LTCC antenna combined with a measurement substrate.

그림 8은 안테나의 특성 측정을 위하여 기판과 커넥터(기가레인 PSF-S03-001, DC~40 GHz)를 접한 시킨 형태이다. 우선 기판에 안테나와 같은 크기의 직사각형 모양을 내고 급전을 위한 구멍을 기판에 제작하였다. 이것은 기판과 안테나의 급전부분을 실버 에폭시를 이용하여 접합할 때 실버 에폭시가 번져 급전부와 단락되어지는 것을 방지하기 위해서이며 이는 그림 9와 같은 방법을 이용하여 제작되었다.

그림 10은 그림 9와 같이 안테나를 측정 기판에 접합하여 RF의 반사 및 투과계수를 벡터적으로 측

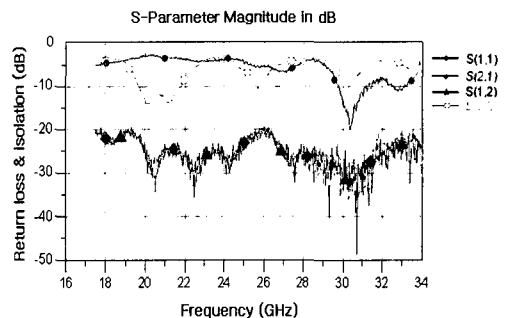
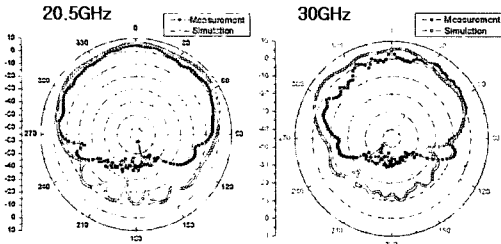


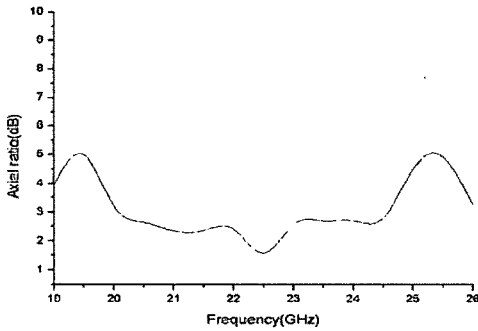
그림 10. LTCC 안테나의 측정 반사손실(HP8510C)
Fig. 10. Measured return loss of the LTCC antenna (HP8510C).



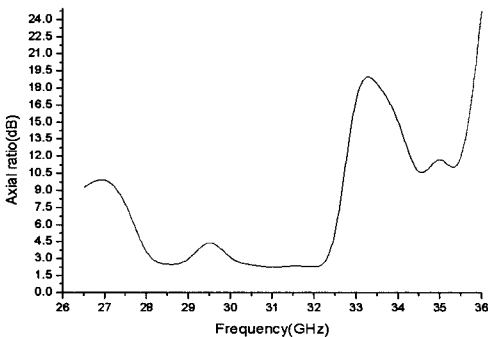
(a) 20.5 GHz에서의 E-plane (b) 30 GHz에서의 E-plane
(a) E-plane at the 20.5 GHz (b) E-plane at the 30 GHz

그림 11. LTCC 안테나의 시뮬레이션과 측정 E-plane
Fig. 11. Simulation and measured E-plane of the LTCC antenna.

정하는 계측기인 HP8510C를 이용하여 반사 손실을 측정된 결과이다. 실제 제작 안테나의 크기가 설계치보다 작게 제작된 것에 대한 영향으로 공진주파수가 고주파로 이동되었다. 하지만 LHCP 안테나와



(a) LHCP 안테나 축비
(a) Antenna axial ratio of LHCP antenna

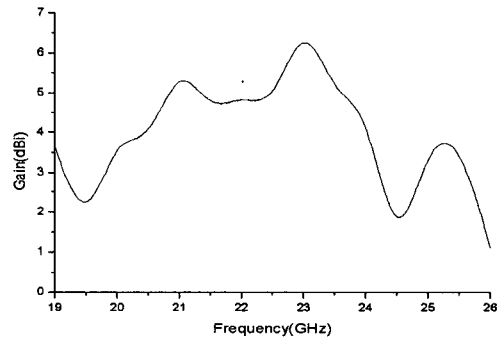


(b) RHCP 안테나 축비
(b) Antenna axial ratio of RHCP antenna

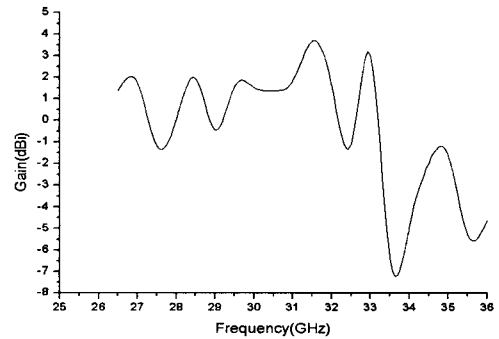
그림 12. LTCC 안테나의 측정 축비($\theta=0^\circ$)
Fig. 12. Measured axial ratio of the LTCC antenna($\theta=0^\circ$).

RHCP 안테나간의 격리도는 각각 K/Ka 대역에서 20 dB 이상으로 높은 격리도를 가졌다. 그림 11은 20.5 GHz와 30 GHz에서 LTCC 안테나의 E 평면의 시뮬레이션값과 측정값을 나타낸 것이다. 측정 패턴은 안테나를 기준으로 위쪽 방향으로 지향성을 갖는 형태인 것을 알 수 있으며 각각 20.5 GHz, 30 GHz에서 위쪽 방향을 기준으로 0° 에서 4 dBi, 1.38 dBi의 이득을 갖는 것을 알 수 있다. 전체적인 방사 패턴은 시뮬레이션에서의 방사 패턴과 일치하는 것을 알 수 있다.

LTCC 안테나의 측정된 축비를 그림 12에 나타내었다. 그림 12(a)는 K 대역에서 LHCP 안테나의 축비를 나타낸 것이고 그림 12(b)는 Ka 대역에서 RHCP 안테나의 축비를 나타낸 것이다. 그림 10, 12에서 안테나의 반사손실과 축비를 고려했을 때 K 대역에서 측정 임피던스(VSWR 2:1) 대역은 20~21.5 GHz, 측정 원형 편파 대역은 20~24.5 GHz이고 Ka 대역에서



(a) K 대역에서의 LTCC 안테나 측정 이득
(a) Measured gain of the LTCC antenna in the K band



(b) Ka 대역에서의 LTCC 안테나 측정 이득
(b) Measured gain of the LTCC antenna in the Ka band

그림 13. LTCC 안테나의 측정 이득
Fig. 13. Measured gain of the LTCC antenna.

측정 임피던스(VSWR 2:1) 대역은 30~31.5 GHz, 측정 원형 편파 대역은 30~32.4 GHz이며 임피던스 대역과 원형 편파 대역을 고려했을 때 원형 편파 대역대 임피던스 대역 비율이 각각 K 대역에서는 300 % (4.5 GHz : 1.5 GHz), Ka 대역에서는 160 % (2.4 GHz : 1.5 GHz)이다. 임피던스 대역과 원형 편파 대역을 모두 고려했을 때는 대역폭을 각각 K 대역에서 20~21.5 GHz, Ka 대역에서 30~31.5 GHz를 얻었다. 그림 13에서는 측정을 통해 얻은 K, Ka 대역 송수신 겸용 광대역 LTCC 안테나의 이득을 주파수에 따라 얻는 값을 나타낸 것이다. 따라서 본 논문에서 제시한 안테나의 임피던스 대역을 고려한 원형 편파 대역, 격리도, 이득은 각각 K 대역에서 20~21.5 GHz, 20 dB 이상, 4~5.5 dBi를 가지며 Ka 대역에서 30~31.5 GHz, 20 dB 이상, 1.38~3.67 dBi를 갖는다. 전체적으로 시뮬레이션의 결과와 유사한 것을 알 수 있다. 이득이 시뮬레이션보다 작게 나온 것은 안테나와 기판 접합시의 임피던스 부정합과 제작된 안테나의 유전율과 손실이 설계치의 값과 차이나는 것에서 발생된 것으로 보인다.

IV. 결 론

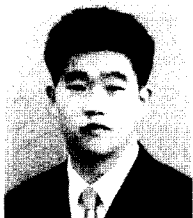
본 논문에서 제안한 안테나는 LTCC 공정을 이용한 송수신 겸용 안테나로서 다른 RF 회로와 집적화가 가능하다. 또한 주파수 대역이 K/Ka 대역이기 때문에 앞으로 위성통신 및 위성방송의 주파수 대역이 Ku 대역에서 K/Ka 대역으로 이동하면서 필요로 되는 안테나로서 크게 쓰일 것으로 크게 기대된다. 이에 대한 K/Ka 대역 송수신 겸용 광대역 LTCC 원형 편파 안테나의 측정 특성으로는 K 대역에서 임피던스

스 대역을 고려한 원형 편파 대역 20~21.5 GHz, 이득 4~5.5 dBi를 가지며 Ka 대역에서는 임피던스 대역을 고려한 원형 편파 대역 30~31.5 GHz, 이득 1.38~3.67 dBi를 갖는다. 또한 송수신간의 격리도는 원형 편파 대역에서 각각 20 dB 이상의 높은 격리도를 얻었다.

참 고 문 헌

- [1] Kyutae Lim, "Development of planar antennas in multi-layer packages for RF-system on a package applications", *Electrical Performance of Electronic Packaging*, pp. 101-104, Oct. 2001.
- [2] H. Uejima, Y. Saito, M. Oto, J. Sakai and K. Asaka, "Circular polarization characteristics of one-wavelength L-shaped antenna", *AP Symposium*, vol. 2, pp. 327-330, Oct. 28-Nov. 1, 2003.
- [3] C. A. Balanis, *Antenna Theory-Analysis and Design*, 2nd Edition, Wiley, New York, 1997.
- [4] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, 2nd Edition, Wiley, New York, 1998.
- [5] Y. Ojira, T. Hiraguri and K. Hirasawa, "A monopolefed circularly polarized loop antenna", *AP. 1998 IEEE*, vol. 2, pp. 810-813, Jun. 1998.
- [6] Tentzeris, E. Li, R. L. Lim, K. Maeng, M. Tsai, E. Dejean and G. Laskar, J. "Design of compact stacked-patch antennas on LTCC technology for wireless communication applications", *AP Symposium, 2002. IEEE*, vol. 2, pp. 500-503, Jun. 2002.
- [7] R. E. Collin, *Antennas and Radiowave Propagation*, McGraw-Hill, New York, 1985.

오 민 석



2003년 2월: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 (공학사)
 2003년 2월~현재: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 (공학석사)
 [주 관심분야] RF 및 Antenna 시스템, 초고주파 회로설계, 능동 위상 배열 시스템

천 영 민



2003년 2월: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 (공학사)
 2003년 2월~현재: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 (공학석사)
 [주 관심분야] RF 및 Antenna 시스템, 초고주파 회로설계, 능동위상 배열 시스템

김 성 남



2003년 2월: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 (공학사)
2003년 2월~현재: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 (공학석사)
[주 관심분야] RF 및 Antenna 시스템, 초고주파 회로설계, 능동 위상배열 시스템

최 재 익



1981년: 고려대학교 전자공학과 (공학사)
1983년: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
1995년: 고려대학교 전자공학과 (공학박사)
1983년~현재: 한국전자통신연구원 전자파환경연구팀 팀장
[주 관심분야] RF 및 Antenna 시스템, EMI/EMC, 차세대 무선통신, 위성통신

이 중 문



1996년: 충북대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
1999년: 충북대학교 전자공학과 (공학석사)
1996년~1998년: (주)새한이동통신 연구원
2000년 4월~현재: 한국전자통신연

구원 RFID 기술연구팀 선임연구원
[주 관심분야] RF 및 Antenna 시스템, RFID, 위성통신

천 창 울



1983년: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
1985년: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)
1992년: The University of Michigan, Ann Arbor (공학박사)
1992년~1995년: 강원대학교 전기공학과 조교수
1995년~현재: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터 공학부 교수
[주 관심분야] RF 및 Antenna 시스템, 초고주파 회로설계, 능동 위상 배열 시스템

표 철 식



1991년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1999년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
1991년~현재: 한국전자통신연구원 RFID 기술연구팀 팀장
[주 관심분야] RF 및 Antenna 시스템, RFID, 위성통신