

LTCC 공정을 이용한 송신 30GHz/수신 20GHz 이중급전 원형편파 패치 안테나 설계

論 文
53C-8-8

The Design of Tx 30GHz/ Rx 20GHz Dual Feeding Circular Polarized Patch Antenna Using LTCC Process

金星男* · 吳珉錫** · 千永珉*** · 崔在益[§] · 表喆植^{§§} · 李鍾文^{§§§} · 千昌律[#]
(Sungnam Kim · Min-Seok Oh · Youngmin Cheon · Jae-Ick Choi · Cheol-Sig Pyo · Jong-Moon Lee · Changyul Cheon)

Abstract - In this paper, circular polarized antennas of Tx 30GHz and Rx 20GHz are implemented in LTCC process. Tx antenna has a circular patch structure and Rx antenna has a ring patch structure. The feeding line of Tx antenna is placed in the center hole of Rx ring patch antenna which is printed under Tx circular patch antenna layer. It makes antenna size smaller. Tx antenna's return loss is under -10dB level from 30GHz to 31GHz and Rx antenna is under -10 dB from 20GHz to 21GHz. The isolation between two antennas is less than -20dB. Axial ratio is less than 3dB throughout each band.

Key words : Ring Patch Antenna, Circular Patch Antenna, Circular Polarized Antenna, Axial Ratio

1. 서 론

위성통신의 급속한 발달 및 보급에 따라 그에 맞는 안테나의 개발이 필요하다. 위성 통신 환경은 극성변화가 심하고 우천시에는 감쇄가 심하게 된다. 이를 극복하기 위하여 고 이득을 가지고, 대기중에서 감쇄특성이 우수한 안테나의 사용이 필요하다. 또한 송수신 주파수 대역간의 간섭이 최소로 하여 통신성능을 높여야 한다.

본 고에서는 우천시 감쇄특성이 우수한 원형편파 안테나를 설계하였다. 또한 송수신 주파수대역을 30GHz/20GHz로 분리하고, 송수신 안테나를 각각 두는 이중급전 방식을 선택하여 송수신 주파수 대역간의 격리도를 향상 시키고자 하였다. 안테나의 제작은 LTCC(Low Temperature Cofired Ceramim)공정으로 수행되었다. LTCC 공정은 고유전율 재료와 적층형 공정방법을 사용한다는 점에서 안테나의 크기를 줄이며, 안테나를 다른 RF 소자들과 집적화 할 수 있는 부수적인 효과를 가져 올 수 있다. 그러나 고유전율 재료의 사용은 안테나의 협대역 특성과 이중급전 방식에서 두 대역간의 낮은 격리도 특성을 주는 단점을 가진다. 고유전율 재료의 사용으로 나타나는 단점인 협대역 특성을 보완하기 위하여 2by2 sequential array 안테나의 설계하였고, 낮

은 격리도 특성을 해결하기 위해 송신부를 RHCP, 수신부를 LHCP로 하고, 두 안테나를 상 하층에 각각 배치하였다. 또한 송수신 주파수 대역을 만족하는 안테나를 설계하였다.

2. 단일 안테나 설계

2.1. 원형 편파 송수신 안테나 구조

원형편파를 구현하기 위해서 패치안테나(patch antenna)를 제안하였다. 안테나의 크기를 고려하여 수신부는 환형(ring patch)으로 두고 그 비워진 공간으로 송신 안테나인 원형 패치(circular patch) 급전선이 지나가며, 수신안테나인 환형패치 안테나의 상단에 송신 안테나를 두는 구조를 제안한다. 커플링으로써 안테나에 신호가 공급될 때 보다 좁은 대역폭 특성을 가지지만, 송수신 안테나를 환형 안테나 중앙 상단에 원형 안테나를 두는 방식에 있어서 두 안테나간 격리도를 고려하여 안테나에 RF신호가 직접 연결되는 방식을 선택하였다. 각 안테나에 단일급전을 할 때에는 서로 직교하고 크기가 같은 두 모드를 형성하기 위해서 그 급전 위치가 중요하다. 급전의 위치는 모의실험을 통하여 얻었다.[1]

2.1.1. 송신 안테나 구조

송신 안테나는 30GHz~31GHz 대역에서 RHCP를 구현해야 한다. 동작원리는 정 중앙이 아닌 급전점으로 RF신호를 지름이 $\lambda/2$ 인 복사소자에 인가시키면서 공진을 일으키고, 그와 수직인 방향으로 또 하나의 공진이 일어남으로써 원형 편파를 구현한다. 대각선 방향으로 파여진 슬롯은 $\lambda/2$ 에서 생성된 공진과 수직으로 편향된 공진을 약간 높은 주파수에서 더욱 잘 일어날 수 있도록 도와준다. 따라서 이 두

* 學生會員 : 서울시립대 전자전기 컴퓨터학부 碩士課程
** 學生會員 : 서울시립대 전자전기 컴퓨터학부 碩士課程
*** 非 會 員 : 서울시립대 전자전기 컴퓨터학부 碩士課程
§ 非 會 員 : 한국 전자통신연구원 責任 研究員
§§ 非 會 員 : 한국 전자통신연구원 責任 研究員
§§§ 非 會 員 : 한국 전자통신연구원 先任 研究員
正 會 員 : 서울시립대 전자전기컴퓨터 학부 教授
接受日字 : 2004年 5月 19日
最終完了 : 2004年 6月 29日

모드가 같은 크기를 가지는 중심주파수 f_0 에서 위상차가 90° 를 이루어지게 함으로써 원형편파가 이루어진다. 편파 극성은 x-y 좌표를 기준으로 급전점이 x축 상에 있고, 대각선 방향의 홈이 y축으로부터 반시계 방향으로 45° 에서 90° 사이에 편향되어 있을 경우 RHCP가 발생한다.[2]

2.1.2. 수신 안테나 구조

수신 안테나는 20GHz~21GHz 대역에서 LHCP를 발생하도록 설계하였다. 송신부 안테나와 적축형 방식을 적용해 체적을 최소화 할 수 있도록 환형 안테나를 제안하였다. 환형 안테나 또한 원형 안테나와 같은 원리로 x-y좌표에서 y축 상에 급전 점을 두고, 슬롯을 대각선 방향으로 y축으로부터 반시계 방향으로 45° 에서 90° 사이에 편향되게 함으로써 LHCP를 가지도록 설계하였다. 이때 환형 안테나는 접지 면과 솟아있는 핀을 네 방향에 둠으로써 접지면과 멀리 떨어진 송신부 안테나에게 있어서 접지면 역할을 할 수 있게 하는 반면 송신부의 안테나로부터 여기되는 RF신호가 솟아있는 핀을 통하여 접지 면으로 빠져나가도록 하여 두 안테나간 격리도를 향상시키는 결과를 가져오고, 그 자체를 가지고 커패시턴스 성분이 강한 패치 안테나의 임피던스를 접지 면과 접지 시키면서 안테나의 임피던스를 조절하는 역할도 고려하였다.[1]

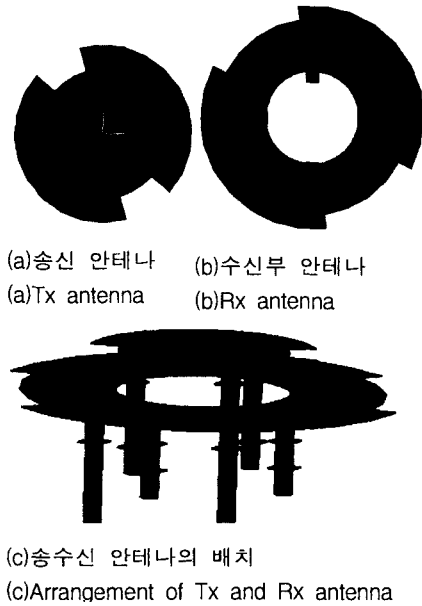


그림 1. 송수신 안테나의 구조
Fig. 1. Structure of Tx and Rx antennas.

2-2. 단일 안테나 모의 실험

안테나 제작은 LTCC 공정으로 수행하였다. LTCC 공정은 각 layer를 이루는 GREEN Sheet의 두께가 정해져 있기 때문에 안테나의 전체 두께는 그 GREEN Sheet의 두께의 배수로 결정되어야 한다. 각 층의 두께는 공정률에 맞춰서 다음 그림 2와 같이 네 개의 층으로 설계하였다. LTCC 공정에서 사용될 소재의 유전율은 5.2로 사용가능한 유전율 중에서 낮은 것으로 선택했다. 접지면에서 송신부까지 안테

나의 높이는 1.02mm이고, 수신부 안테나까지의 높이는 0.72mm가 된다. 또한 안테나의 도체패턴부분과 via, via와 via간의 간격도 공정률을 참고로 하여 실제 제작시 어려움이 없도록 하였다. 안테나의 크기는 설계이론에서 근사적으로 구한 수치를 기준으로 안테나의 세부 변수들을 변화시켜가면서 최적화된 값들을 모의 실험을 통해 찾았다.

2.2.1. 송신 안테나 설계

송신부의 안테나로 원형 패치 안테나를 사용하였다. 대각선 방향의 슬롯의 넓이, 깊이, 안테나의 회전각도, 급전위치 등은 수신부 안테나(환형안테나)의 변수값들과 송신 안테나에서 변화시키고자 하는 변수는 뺀 나머지 변수들은 고정시키고 최적화된 값을 얻고자 하는 변수만 변화시켜보았다. 그림 3은 송신 안테나의 모형 및 설계 시 고려된 각 변수들을 나타내고 있다. 송신 안테나는 첫 층 상단에 위치하고 있다. 안테나 소체 크기는 가로 6mm 세로 6mm이다. f1x는 안테나 중심으로부터 급전점까지의 거리이고, r4는 대각선 방향의 슬롯을 이루는 호의 반지름, rot1은 원점과 급전점을 이은 축으로부터 슬롯 중심의 회전각도를 나타낸다. 안테나 설계 시 각 변수값들을 구하기 위해 원형패치의 반지름은 0.93mm로 정해놓은 후에 세부 변수들의 값을 찾았다. 모의실험을 통해 얻어진 값들은 급전점의 위치가 안테나 중심으로부터 0.44mm, 양 대각선 방향 슬롯의 깊이가 0.25mm, 슬롯의 넓이가 0.28mm 안테나중심과 급전점을 이은 축으로부터 안테나의 회전각도가 50° 이다.

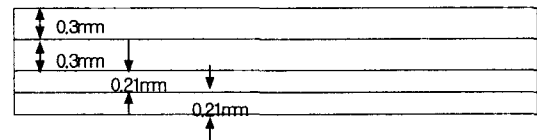


그림 2. 안테나의 각 층간 두께
Fig. 2. Thickness of each layer.

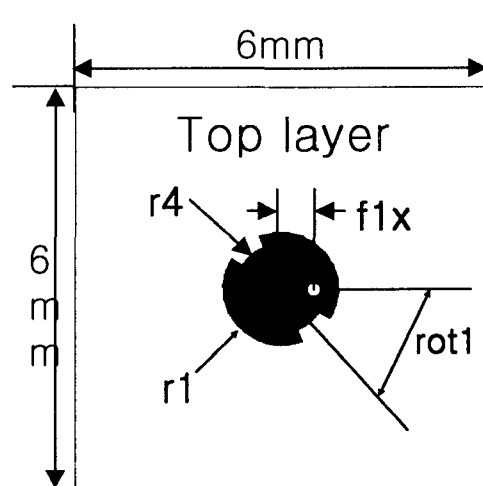


그림 3. 원형패치 안테나의 세부변수
Fig. 3. Variables of circular patch antenna.

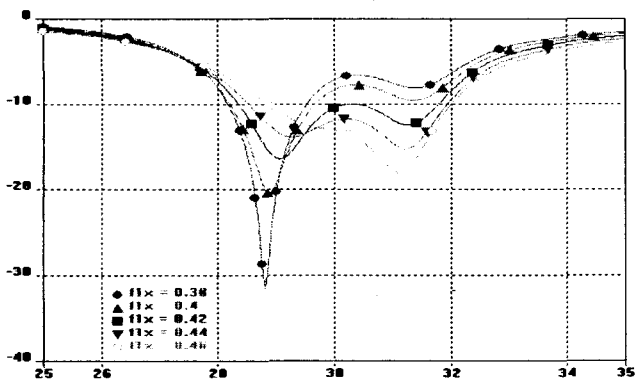


그림 4. 급전 위치를 변화시킬때 반사손실
Fig. 4. Return loss according to feeding point

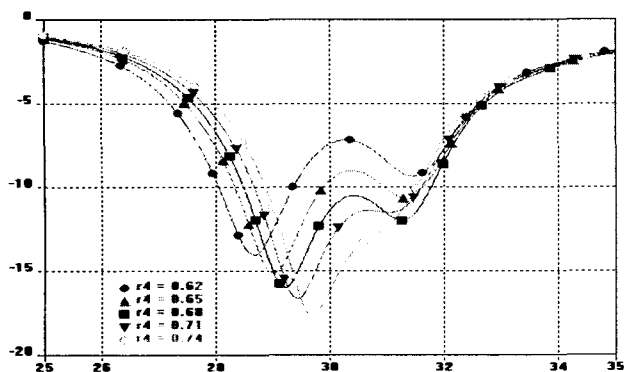


그림 5. 슬롯의 깊이에 따른 반사 손실
Fig. 5. Return loss according to slot depth

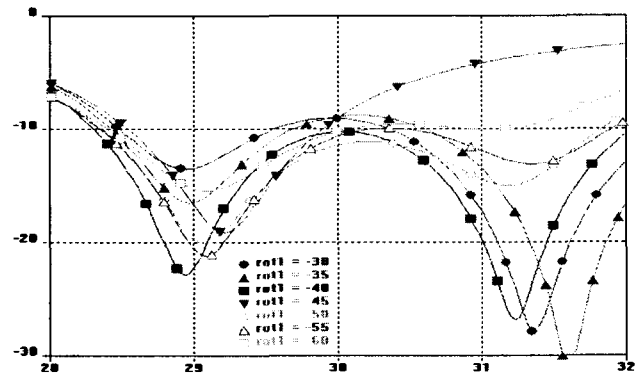


그림 6. 슬롯의 회전각도에 따른 반사 손실
Fig. 6. Return loss according to slot rotation angle

2.2.2. 수신 안테나 설계

송신부 안테나인 원형 패치 안테나의 변수들을 고정시키고 수신부 안테나인 환형 패치 안테나에 대해 변수들을 변화시켰다. 환형 패치 안테나의 외부 반지름과 내부 반지름은 각각 1.76mm와 0.69mm로 고정시킨후 각 세부 변수들을 변화시켜 최적화된 값을 얻고자 했다. 환형 패치 안테나에 대한 세부 변수들은 다음 그림 7과 같다. 수신 안테나의 위치는 두 번째 layer의 상단인 송신 안테나의 0.3mm 아래에

위치하고 있다. 그림 7에는 수신안테나의 모형 및 각 변수들을 나타내고 있다. $f2y$ 는 안테나 중심으로부터 급전점까지의 거리이고, $r5$ 는 슬롯의 깊이, 급전점과 안테나 중심을 이은 축으로부터 안테나 슬롯의 회전각도를 나타내고 있다. 급전점의 위치가 0.98mm, 슬롯의 깊이가 0.31mm, 슬롯의 회전각도가 50° 일때 가장 적절한 결과를 얻었다. 앞서 기술한 각 parameter sweep한 결과를 토대로 송신부와 수신부 안테나의 전체적인 모의 실험 결과를 얻었다. 결과는 그림 11과 12, 표 1에 표시되어있다. 축비대역에서 시스템 사양에 부족한 결과를 얻었다.

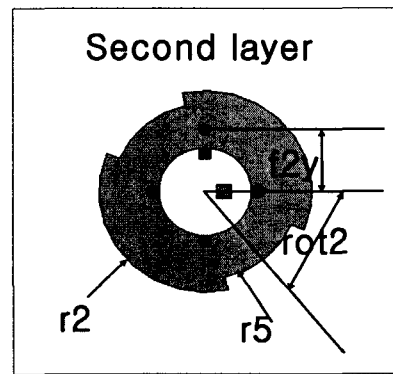


그림 7. 환형패치 안테나의 세부변수
Fig. 7. Variables of ring patch antenna

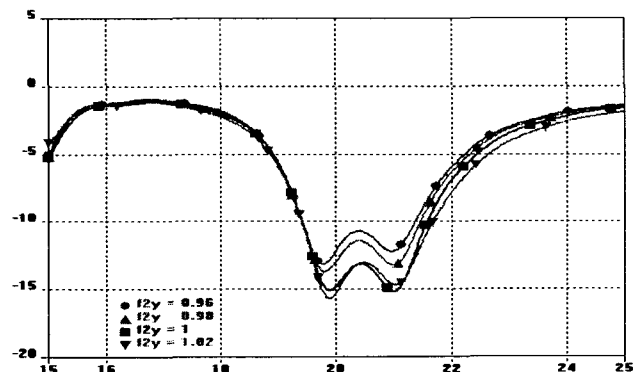


그림 8. 급전 위치를 변화시킬때 반사손실
Fig. 8. Return loss according to feeding point

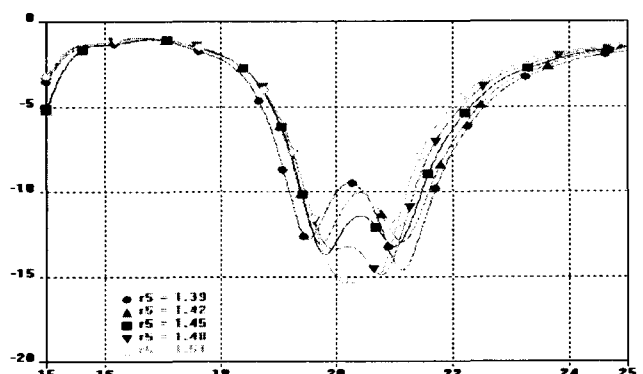


그림 9. 슬롯의 깊이에 따른 반사 손실
Fig. 9. Return loss according to slot depth

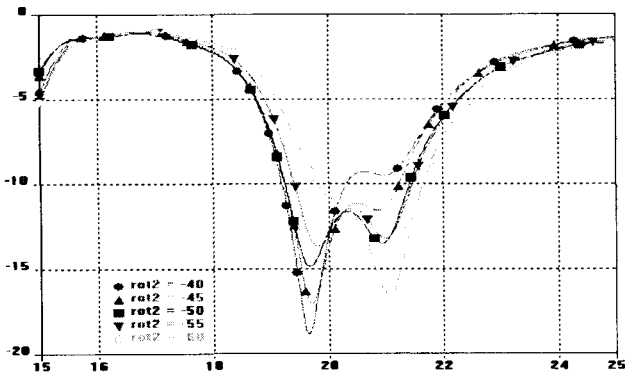


그림 10. 슬롯의 회전각도에 따른 반사 손실
Fig 10. Return loss according to slot rotation angle

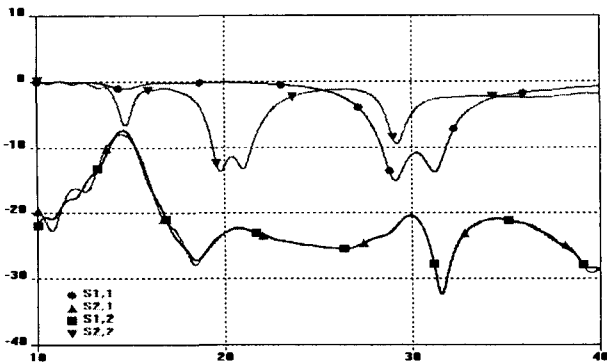
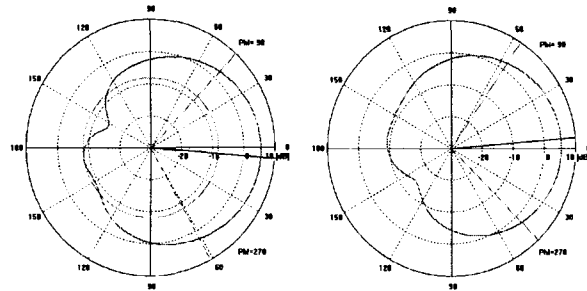


그림 11. 송수신 안테나의 S-parameter
Fig 11. S-parameter of Tx/Rx antennas



(a)송신 안테나 이득 (30.6GHz) (b)수신 안테나 이득 (20.5GHz)
(a)Gain of Tx antenna (30.6GHz) (b)Gain of Rx antenna (20.5GHz)

그림 12. 송수신 안테나의 방사 패턴
Fig 12. Radiation patterns of Tx/Rx antennas.

표 1. 모의실험 결과
Table 1. Simulation result.

	송신 안테나	수신 안테나
방사 이득 (dB)	중심 주파수 30.6GHz 5dB	중심 주파수 20.5GHz 5dB
축비 대역(GHz)	30.1GHz-30.9GHz 0.8GHz 대역폭	20.1GHz-30.8GHz 0.7GHz 대역폭

3. Sequential array 안테나 설계

3.1. Sequential array 안테나 설계 이론

본 논문에서 적용한 Sequential array 방식은 부족한 축비 대역을 보상하는 방법이다. 그림 13에서 안테나 1과 3의 electric field는 수식 (1)과 같다.

$$\hat{x}E_x + \hat{y}jE_y \tag{1}$$

모든 안테나에 동위상 급전을 한다면 안테나 2, 4의 electric field는 수식 (2)가 될 것이다.

$$-j\hat{x}E_y + \hat{y}E_x \tag{2}$$

또한 2, 4에 급전 시 위상을 90° 지연 시킨다면 전체벡터는 수식 (3)이 되고 안테나 1과 2에서 방사한 전체벡터의 합은 수식 (4)와 같다.

$$(-j\hat{x}E_y + \hat{y}E_x)e^{j\pi/2} = \hat{x}E_y + j\hat{y}E_x \tag{3}$$

$$\hat{x}(E_x + E_y) + \hat{y}j(E_x + E_y) \tag{4}$$

다음 식 (4)에서 전체의 x 성분과 y 성분이 같기 때문에 타원형 편파로 원형 편파를 얻을 수 있다는 것을 볼 수 있다.[3]

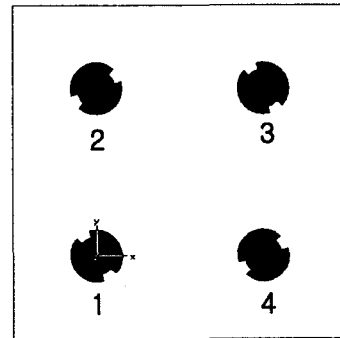


그림 13. Sequential array 안테나 모형
Fig 13. Model of sequential array antenna.

3.2. Sequential array 안테나 모의 실험 및 측정결과

3.2.1. 모의 실험

2by2 배열 안테나의 설계에서 우선 고려되어야 할 부분이 배열 간격이다. 본 고에서 설계하는 안테나는 송수신 주파수가 30GHz/20GHz로 분리 되어있다는 점에서 배열 간격을 신중히 고려해야 하지만 배열로서 빔의 방향을 조절하는 것이 아니고, 빔 방향이 end-fire로 고정되어있기 때문에 grating lobe만 피할 수 있도록 안테나 배열 간격을 30GHz 대역에서 0.8λ, 20GHz 대역에서 0.533λ인 12mm로 하여 1λ보다 작도록 하였다.[4] 또한 그림 13에서 1, 3안테나와 2, 4안테나간의 위상차 90°가 생기도록 T-junction Power divider를 설계하여 배열 안테나의 급전에 사용하였다. Power divider를 설계하고, 배열 간격을 정한 후 앞서 설계한 단일 안테나를 배열 시켜서 모의 실험을 수행하였다. 모의 실험은 Ansoft HFSS 8.0을 이용하여 수행하였다.

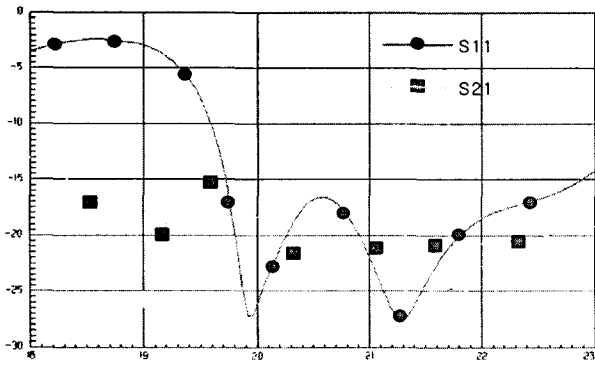


그림 14. Rx 2by2 sequential array antenna의 S-parameter 모의실험 결과

Fig 14. S-parameter simulation result of Rx 2by2 sequential array antenna

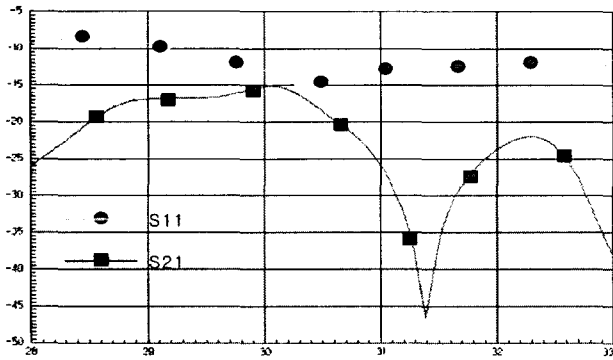


그림 15. Tx 2by2 sequential array antenna의 S-parameter 모의실험 결과

Fig 15. S-parameter simulation result of Tx 2by2 sequential array antenna

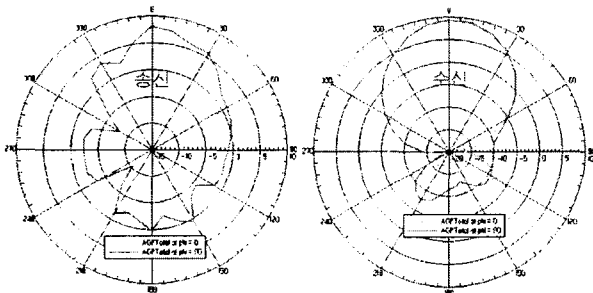


그림 16. 송수신 안테나의 방사 패턴 모의실험 결과

Fig 16. Radiation pattern simulation result of Tx/Rx antenna

3.2.2. 측정 결과

제작된 안테나는 그림 17에서 나타나 있다. 안테나의 전체 크기는 34mm X 34mm이고 LTCC 공정을 이용하여 제작된 2by2 sequential 배열 안테나를 X-ray 촬영한 결과 송신 안테나의 반지름은 모의실험의 0.68mm에 보다 0.01mm 커져 정밀하게 제작된 반면 수신안테나의 외부 반지름은 모의실험의 1.76mm보다 0.15mm작아진 1.61mm로 공정 에러

가 송신 안테나보다 컸다. 그 결과 송신 안테나의 주파수 대역은 모의실험결과의 대역과 거의 일치한 반면 수신 안테나의 주파수 대역은 24GHz 대역으로 이동한 결과를 얻었다. 방사 이득은 모의실험결과가 송신 안테나 30.6GHz에서 7.5dBi 수신 안테나 20.5GHz에서 9.2dBi의 결과를 얻은 반면 측정결과는 송신안테나 31GHz에서 5dBi, 수신안테나가 24GHz에서 7.5dBi의 결과를 얻었다.

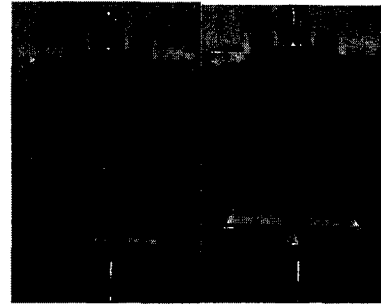


그림 17. 제작된 안테나 사진

Fig 17. The picture of manufactured antenna

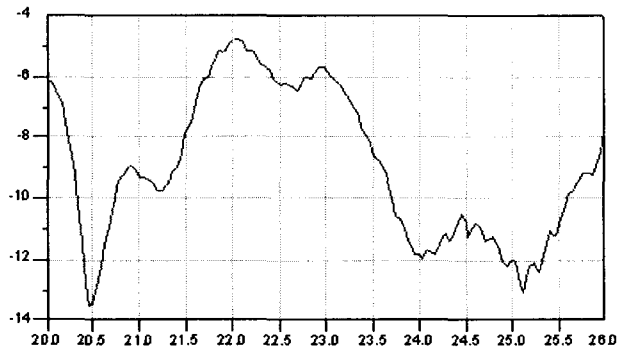


그림 18. 수신 2by2 sequential array antenna의 반사손실 측정 결과

Fig 18. Measured return loss of Rx 2by2 sequential array antenna

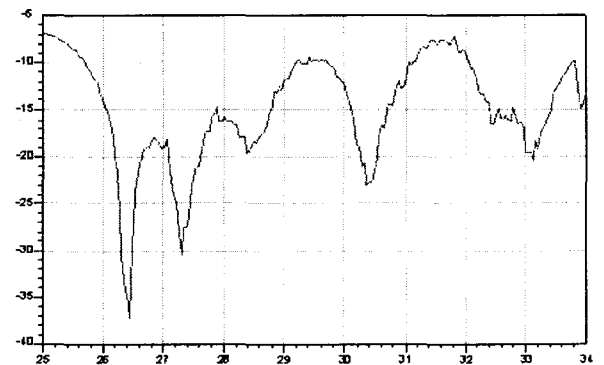


그림 19. 송신 2by2 sequential array antenna의 반사손실 측정 결과

Fig 19. Measured return loss of Tx 2by2 sequential array antenna

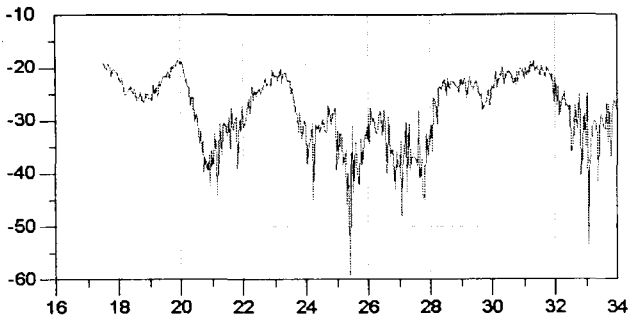
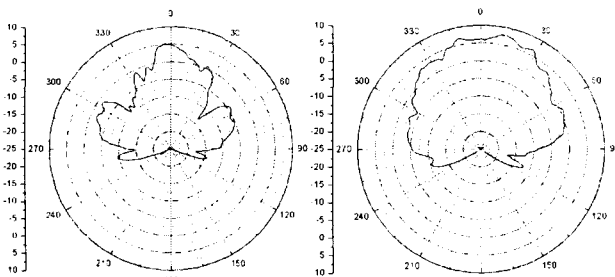


그림 20. 송수신 안테나 간의 격리도 특성
 Fig 20. Isolation between Tx and Rx antenna



(a) 송신 안테나 이득 (31GHz) (b) 수신 안테나 이득 (24GHz)
 (a) Gain of Tx antenna (31GHz) (b) Gain of Rx antenna (24GHz)

그림 21. 송수신 안테나의 방사 패턴 측정 결과
 Fig 21. Measured Radiation pattern of Tx/Rx antenna

표 2. 모의실험 결과와 측정 결과 비교
 Table 2. Comparison of simulation and measured results.

		모의실험	측정결과
수신	방사 이득	중심 주파수 20.5GHz 9.2dBi	중심 주파수 24GHz 7.5dBi
	축비 대역	19.8GHz~22.3GHz, 2.5GHz 대역폭	23.5GHz~25.5GHz, 2GHz 대역폭
송신	방사 이득	중심 주파수 30.6GHz, 7.5dBi	중심 주파수 31GHz 5dBi
	축비 대역	29.5GHz~32.5GHz, 3GHz 대역폭	30GHz~31.5GHz, 1.5GHz 대역폭

3. 결 론

본 논문에서는 송신 30GHz-31GHz, 수신 20GHz-21GHz 이중급전 안테나를 LTCC 공정으로 구현 하였다. 송신 안테나는 원형 패치 안테나로 구조를 선택 하였고, 수신 안테나

는 원형 패치 안테나로 구조를 선택하였다. 모의 실험 결과와 대비하여 측정 결과에서 수신 주파수 대역이 제작의 오차로 인해 24GHz로 옮겨 갔다. 안테나 방사 이득은 송수신 주파수 대역에서 3dBi 이상을 얻었고, 축비 대역은 송수신 주파수에서 3dB 이하의 요구사항을 모두 만족하였다. 또한 송수신 포트간의 격리도도 송수신 주파수 대역에서 원하는 요구사항인 -20dB를 만족하였다.

참 고 문 헌

[1] Chujo. W, Fujise M, Arai H and Goto N, "A two-layer self-diplexing antenna using a circularly polarized ring patch antenna," IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, vol 1, pp 338-341, June 1991.
 [2] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl and A. Ittipiboon, "Microstrip antenna design handbook," Arthch House, pp. 493-498, 2000.
 [3] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl and A. Ittipiboon, "Microstrip antenna design handbook," Arthch House, pp. 525-530, 2000.
 [4] Constantine A. Balanis, "Antenna Theory analysis and design," John Wiley & Sons, pp 247-328, 1997.

저 자 소 개



김 성 남 (金星男)

1977년 11월 15일생. 2003년 서울시립대 전자전기컴퓨터 공학부 졸업. 2003년 ~ 현재 동 대학원 석사과정
 Tel : 02-2216-1483
 E-mail : snamee77@uos.ac.kr



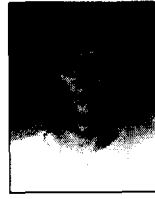
오 민 석 (吳珉錫)

1977년 7월 2일생. 2003년 서울시립대 전자전기컴퓨터 공학부 졸업. 2003년 ~ 현재 동 대학원 석사과정
 Tel : 02 - 2216 - 1483
 E-mail : oms77@uos.ac.kr



천 영 민 (千 永 珉)

2003년 서울시립대 전자전기컴퓨터 공학부 졸업. 2003년~현재 동 대학원 석사과정
Tel : 02-2216-1483
E-mail : looo1000@uos.ac.kr



이 종 문 (李 鍾 文)

1996년 충북대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사). 1996년-1998년 (주)새한이동통신 연구원. 1999년 충북대학교 전파공학과 졸업(석사). 2000년 4월 ~ 현재 한국전자통신연구원 RFID기술연구팀 선임연구원
Tel : 042 - 860 - 4855
E-mail : jmlee@etri.re.kr



최 재 익 (崔 在 益)

1981년 고려대학교 전자공학과 졸업 (학사). 1983년 동 대학원 졸업(석사). 1995년 동 대학원 졸업(박사). 1983년 ~ 현재 한국전자통신연구원 전자파환경연구팀 팀장
Tel : 042 - 860 - 4855
E-mail : jichoi@etri.re.kr



천 창 율 (千 昌 律)

1960년 4월 5일생. 1983년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1985년 동대학원 졸업(석사). 1992년 The University of Michigan, Ann Arbor 졸업(박사). 1992년-1995년 강원대학교 전기공학과 조교수. 1995년-현재 서울시립대학교 전자전기컴퓨터 공학부 교수
Tel : 02-2216-1483
E-mail : changyul@uos.ac.kr



표 철 식 (表 喆 植)

1991년 연세대학교 전자공학과 졸업(학사). 1999년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1991년 ~ 현재 한국전자통신연구원 RFID기술연구팀 팀장
Tel : 042 - 860 - 4855
E-mail : cspyo@etri.re.kr