

이중 공진형 마이크로스트립 패치 안테나 설계

Design of a Dual-Frequency Microstrip Patch Antenna

김규성 · 김태우 · 최재훈

Kyu-Sung Kim · Tae-Woo Kim · Jae-Hoon Choi

요 약

본 논문에서는 개구 결합 방식을 이용하여 단일 급전으로 이중 공진을 일으키며 공진된 편파가 서로 직교하는 새로운 형태의 패치 안테나를 제안하였으며, 이 패치 안테나의 특성을 실험적으로 고찰하였다. 이를 위해 방사소자는 새로운 형태의 두 개의 사각형 홈이 파인 정사각 패치를 사용하였고 개구 결합 구조도 패치 소자에서 발생하는 2중 편파를 수용할 수 있도록 십자형 슬롯과 90도 굽은 급전선을 사용하였다. 제안된 패치 안테나의 특성을 이용하여 Ku-밴드 위성통신용 송수신 겸용 2×2 배열 안테나를 설계 제작하였으며, 성능 분석을 통하여 위성단말기용 안테나로서의 이용 타당성을 고찰하였다. 측정된 안테나의 성능을 살펴보면 송수신 중심주파수에서 10 dBi 이상의 이득을 얻었고, 부엽은 -13 dB 이하, 편파 분리도는 -17 dB 이하의 값을 나타냈다.

Abstract

In this paper, a novel design method of an apertured coupled microstrip patch antenna with the single feeding structure is proposed for dual resonance frequencies with mutually perpendicular polarizations. The characteristics of this antenna are experimentally investigated. In order to achieve this goal, a new type of square patch with double notches is used as a radiator and the crossed slot and the bended microstrip feeder are adopted for the dual polarizations in the aperture-coupled structure. For the application of the proposed antenna, a Ku-band Tx/Rx 2×2 subarray antenna is designed and manufactured. Also, the applicability of the antenna as a ground terminal is examined through performance analysis. According to the measurement, the gain of the antenna is 10 dBi at the center frequencies of Tx and Rx, the side lobe level is lower than -13 dB, and the cross polarization level is below 17 dB.

I. 서 론

무선통신 기술의 급속한 발전은 셀룰러 이동통신, PCS, 이동위성통신 등 각종 분야에 다양한 서비스

제공을 가능하게 하였고, 다가오는 2000년대에는 언제 어디서나 자유롭게 통신하겠다는 사용자들의 욕구를 만족시킬 수 있도록 차세대 이동통신 시스템인 IMT-2000, GMPCS 등의 출현을 앞두고 있다. 이에 따라 이동통신 구현의 핵심부품인 안테나 분야도 소

한양대학교 전파공학과(Department of Radio Science and Engineering, Hanyang University)

· 논문 번호 : 990922-081

· 수정완료일자 : 1999년 10월 15일

형, 경량, 박형으로 이동이 편리하고 저렴한 제작이 가능한 마이크로스트립 패치 안테나가 차세대용 안테나로 등장하고 있으며, 아울러 다양한 서비스를 하나의 안테나에 수용할 수 있는 다 기능성 안테나 개발이 요구되고 있다.

다 기능성 안테나 개발의 일환으로 안테나의 소형화를 위하여 송수신 기능이나 이중편파를 단일 안테나를 통하여 구현할 수 있는 연구분야도 많은 관심의 대상이 되고 있다. 위성통신의 경우 이중편파 및 이중 주파수를 수용할 수 있는 평판 배열안테나의 개발 분야를 살펴보면 미국에서는 이중편파를 가지고 C-밴드와 X-밴드를 단일 안테나^[1]로 수용할 수 있는 안테나가 개발된 바 있으며, 프랑스에서는 이중편파를 수용할 수 있는 X-밴드용 수신안테나^[2]가 개발되는 등 필요로 하는 시스템 요구 성능에 맞게 다양한 형태의 평판 안테나들이 개발되고 있다.

단일 방사소자를 이용하여 이중공진을 일으키는 방법으로는 단락판을 이용한 안테나^[3], 리액턴스 부하를 이용한 안테나^[4], 방사소자에 사각홈을 판 안테나^[5], 방사소자에 십자슬롯을 판 안테나^[6], 이중급전에 의한 안테나^[7] 등 다양한 형태의 안테나가 연구된 바 있으나, 모두 급전방식으로써 대역폭 확장이나, 배열구성이 용이하지 않은 동축선 급전 방식을 사용하였다.

본 논문에서는 개구면 결합 급전방식을 사용하여 이중공진을 발생시키며 공진된 편파가 서로 직교하는 새로운 형태의 패치 안테나를 제안하였다. 방사소자는 두 개의 사각형 홈이 파인 정사각 패치를 사용하였고, 개구 결합 구조도 패치 소자에서 발생하는 이중 편파를 수용할 수 있도록 십자형 슬롯과 90도 굽은 급전선을 사용하였다.

본 논문의 구성은 제 II 장에서 두 개의 사각형 홈이 파인 개구면 급전 정사각패치 안테나의 구조 및 특성을 실험적으로 고찰하였으며, 제 III 장에서는 이 안테나의 특성을 이용하여 Ku-밴드 위성 송수신 결합 2×2 배열 안테나의 설계 및 제작 결과를 제 IV 장에서는 결론을 제시하였다. 안테나 특성분석 및

설계를 위하여서는 Ensemble 5.1을 사용하였다.

II. 단일급전 이중공진형 단일 방사소자의 구조 및 특성

두 개의 사각형 홈이 파인 개구면 급전 정사각 패치 안테나의 구조는 그림 1에 도시하였으며, 표 1에는 안테나 설계 제원을, 표 2에는 안테나 제작에 사용된 기판의 종류, 두께를 제시하였다. 두 개의 사각형 홈이 파인 개구면 급전 정사각패치 소자는 그림 1에 도시된 바와 같이 S, L, W, G 등 4개의 변경 가능한 파라미터를 가지며, 이를 통하여 원하는 2개의 공진주파수에서 공진이 발생하도록 설계가 가능하다. 각 파라미터별 길이 변경에 따른 특성을 분석하기 위해 4개의 안테나를 설계 제작하였고, 방사소자의 파라미터 길이를 칼로 깎아서 변경시키면서 두 개의 공진주파수가 변화하는 특성을 실험적으로 관찰하였다. 제작시 발생하는 오차를 줄이고 수 작업을 통해 방사소자의 파라미터 길이 변경이 용이하도록 안테나의 특성분석은 4 GHz대역에서 수행하였다. 표 1에 제시된 치수들은 4.11 GHz와 4.51 GHz에서 이중공진이 발생하도록 설계된 최적의 값들이다.

안테나의 동작원리는 하층 기판에 놓여 있는 90도 굽은 급전선을 통하여 두 방향의 전계가 공급되

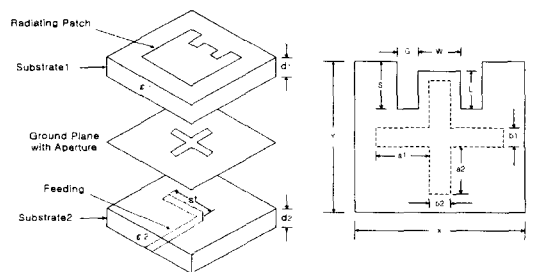


그림 1. 두 개의 사각형 홈이 파인 개구면 급전 정사각패치 안테나의 구조

Fig. 1. The geometry dimensions of an aperture coupled microstrip patch with double notches.

표 1. 두 개의 사각형 홈이 파인 개구면 급전 정사각 패치 안테나의 설계치

Table 1. Design parameters of an aperture coupled microstrip patch with double notches.

패치 크기	X(cm)	Y(cm)	S(cm)	L(cm)	G(cm)	W(cm)
	2.055	2.055	0.33	0.23	0.09	0.64
슬랏 크기	a ₁ (cm)	a ₂ (cm)	b ₁ (cm)	b ₂ (cm)		
	0.36	0.338	0.084	0.08		

표 2. 기판의 설계제원

Table 2. Design parameter of microstrip circuit laminates.

	상층기판 (RT/Duroid 5880)	하층기판 (RT/Duroid 6006)
유전율	2.2	6.15
두께(mil)	20 mil	25 mil

면 상층과 하층 기판 사이에 위치한 십자형의 슬랏을 통하여 방사소자와 급전선간의 전기적인 결합이 발생하게 되고 이를 통하여 두 개의 사각형 홈이 파인 정사각패치에서 서로 다른 편파의 이중공진형 방사가 발생되도록 설계되어 있다.

그림 2~5에 S, L, W, G등 4개의 파라미터 변경에 따른 특성을 실험결과와 함께 표시하였으며, 표 3에는 그림 2~5에 도시된 S, L, W, G의 설계치를 제시하였다. 그림 2, 3에 도시된 W, G 파라미터 변경에 따른 공진주파수의 영향을 보면 W와 G값이 커짐에 따라 두 개의 공진주파수가 모두 높아지는 특성을 나타내며, G값의 경우 W값과 비교, 길이 증가에 따른 두 개의 공진주파수 증가의 폭이 큰 특성을 나타냈다.

그림 4는 S파라미터 변경에 따른 공진주파수의 영향을 나타낸 것으로 S값이 커짐에 따라 낮은 공진 주파수는 더 낮은 주파수로 이동되는 반면 높은 공진 주파수는 S값이 커짐에도 불구하고 거의 같은 주파수에서 공진을 유지하는 특성을 나타낸다. 이와

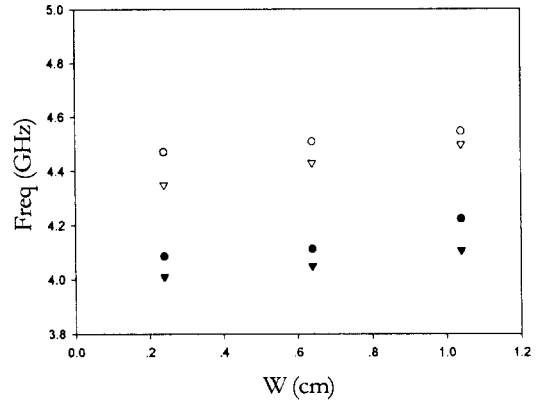


그림 2. W 변화에 따른 두 공진주파수 영향 (●○ 시뮬레이션 ▼▽측정)

Fig. 2. Resonance frequencies as function of length W(●○ simulated ▼▽ measured).

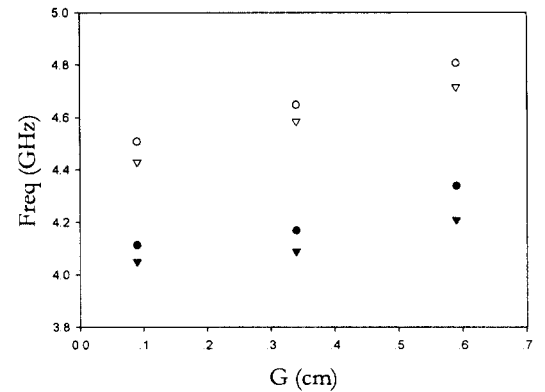


그림 3. G 변화에 따른 두 공진주파수 영향 (●○ 시뮬레이션 ▼▽ 측정)

Fig. 3. Resonance frequencies as function of length G(●○ simulated ▼▽ measured).

반면에 그림 5에 제시된 L 파라미터 변경에 따른 공진주파수의 영향을 관찰하면 L값이 커짐에 따라 낮은 공진 주파수는 거의 같은 주파수에서 공진을 유지하는 반면 높은 공진 주파수는 더 낮은 주파수로 이동되는 특성을 나타낸다. 그림 2~5에서 앙상블을 사용하여 시뮬레이션한 결과치 보다 측정된 공진 주파수가 100 MHz 정도 낮게 측정된 이유는

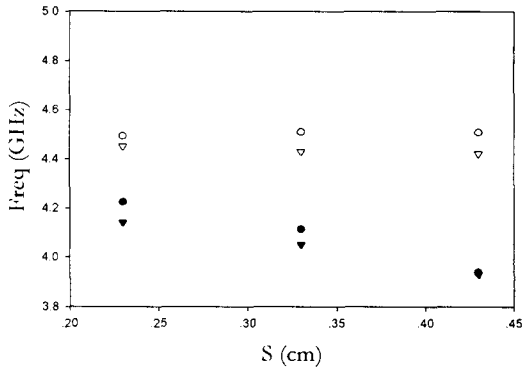


그림 4. S 변화에 따른 두 공진주파수 영향(●○ 시뮬레이션 ▼▽ 측정)

Fig. 4. Resonance frequencies as function of length S(●○ simulated ▼▽ measured).

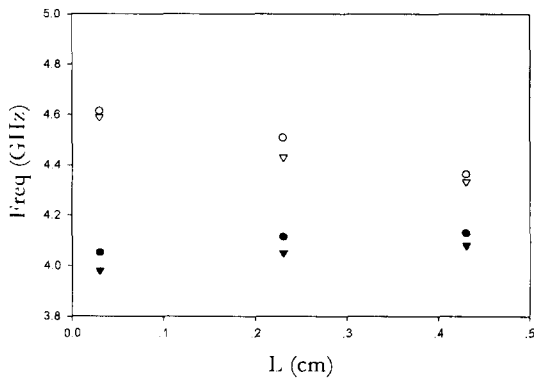


그림 5. L 변화에 따른 두 공진주파수 영향 (●○ 시뮬레이션 ▼▽ 측정)

Fig. 5. Resonance frequencies as function of length L(●○ simulated ▼▽ measured).

표 3. 그림 2~5에 대한 S, L, W, G의 설계치
Table 3. Design parameters of S, L, W and G for Fig. 2~5.

	변경파라미터:변경치(cm)	고정파라미터
그림 2	W : 0.24, 0.64, 1.04	G, S, L
그림 3	G : 0.09, 0.33, 0.59	W, S, L
그림 4	S : 0.23, 0.33, 0.43	W, G, L
그림 5	L : 0.03, 0.23, 0.43	W, G, S

개구면 결합 안테나 제작시 상층 기판과 하층 기판을 접착하기 위해 사용된 접착 물질에 기인된 것으로 판단된다.

위에 제시된 4개의 파라미터 특성을 종합적으로 분석하여 보면 원하는 주파수에서 2개의 공진이 이루어지도록 설계가 가능하며, 두 공진주파수의 변화는 방사소자의 S, W, L, G의 길이 변경에 따라 안테나의 입력임피던스가 변화함에 기인한다. 설계 절차를 살펴보면 높은 공진 주파수는 정사각패치의 길이에 의해서 결정되며, 낮은 공진 주파수는 S, L에 의해서 주로 결정된다. 미세한 주파수 변경은 파라미터 W, G 및 슬랏 크기, 급전 스테브의 길이에 의해 결정하게 된다.

III. Ku-밴드 위성통신용 송수신겸용 안테나 설계

3-1 단일 방사소자 설계

II장에서 분석한 두 개의 사각형 홈이 파인 정사각패치의 4개의 파라미터 변경에 따른 공진주파수의 변화 특성을 이용하여 Ku-밴드 위성통신 수신용 중심주파수인 12.5 GHz와 송신용 중심주파수인 14.25 GHz에서 이중 공진이 발생하도록 안테나를 설계하였다. 표 4에 제시된 값들은 Ku-밴드 위성통신 송수신 중심주파수에서 이중공진을 발생시키기 위해 설계된 최적의 값들이며, 제작에 사용된 기판의 제원은 표 5에 제시하였다. 개구면 결합구조의 특성상 상층기판의 유전 상수와 두께는 안테나의 대역폭과 복사효율에 영향을 미치는 요소들로 Ku-밴드 위성통신에 최소한 요구되는 500 MHz의 대역폭 확보를 위하여 낮은 유전율에 두꺼운 기판을 사용하였고, 하층 기판은 슬랏의 크기가 너무 커지는 것을 방지하기 위해 비교적 높은 유전율을 사용하였다. 급전선의 굵은 부분에서 발생하는 불연속 보상을 위하여 45도 각도로 모서리를 깎이는(mitering) 방법을 사용하였다.

표 4. 두 개의 사각형 홈이 파인 개구면 급전 정사각 패치 안테나의 설계치

Table 4. Design parameters of an aperture coupled microstrip patch with double notches.

패치 크기	X(mm)	Y(mm)	S(mm)	L(mm)	G(mm)	W(mm)
	5.26	5.26	0.629	0.541	0.19	2.22
슬릿 크기	a ₁ (mm)	a ₂ (mm)	b ₁ (mm)	b ₂ (mm)		
	1.71	0.49	2.11	0.49		
방사소자간 거리(mm)				13.5×13.5		

표 5. 사용된 마이크로 스트립 기판

Table 5. Microstrip circuit laminates.

	상층기판 (RT/Duroid 5880)	상층기판 (RT/Duroid 6006)
유전율	2.2	6.15
두께(mil)	31mil	25mil

3-2 2×2 배열 안테나의 설계

본 논문에서는 2×2 배열안테나의 구현을 위해 그림 6에 도시된 바와 같이 마이크로스트립 급전선로에 두 개의 출력 포트로 전력을 동일하게 분배하는 T-Junction 전력분배기와 서로 다른 임피던스를 매칭시키기 위해 $\lambda_g/4$ 임피던스 변환기를 사용하였다^[8]. 방사소자간의 간격은 부엽레벨과 이득이 Trade-off 관계에 있음을 고려하여 부엽을 -13 dB 정도로 유지하면서 이득을 높이는 방향으로 설계하였으며 이 결과 각각 13.5 mm, 13.5 mm를 사용하였다. 방사소자에 급전된 마이크로스트립 선로는 방사소자의 임피던스와 슬릿의 크기를 고려하여 100 Ω을 사용하였고, 두 방사소자를 병렬로 결합하고 출력을 다시 100 Ω라인으로 연결하기 위해 T-Junction 전력분배기에 70.7 Ω의 $\lambda_g/4$ 임피던스 변환기를 사용하였다. 그림 7에 제시된 바와 같이 설계된 2×2 배열안테나의 대역폭(VSWR < 2)은 송수신대역 각각 500 MHz정도를 만족한다.

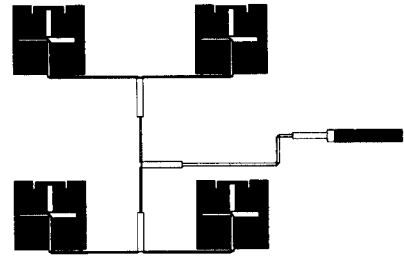


그림 6. 2×2 배열 안테나의 구성도

Fig. 6. Configuration of 2×2 array antenna.

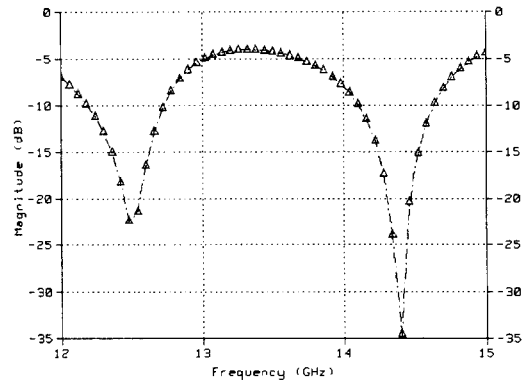


그림 7. 2×2 배열 안테나의 반사손실(시뮬레이션)

Fig. 7. Return loss of 2×2 array antenna (Simulation).

3-3 2×2 배열 안테나의 제작 및 결과

2×2 배열 안테나의 제작시에는 상층 기판과 하층기판의 결합을 위해 접착물질을 사용하는 대신 안테나 기판의 네 모서리를 플라스틱 볼트를 사용하여 기판을 압착시키는 방법을 사용하였고, 이를 통하여 제작시 발생하는 기판 유전율의 변화를 최소화 하였다. 그림 8에는 제작된 2×2 배열안테나의 반사손실 측정 결과를 제시하였다. 반사손실은 12.36 GHz에서 -31.37 dB, 14.25 GHz에서 -24.20 dB로 측정되었으며 대역폭(VSWR < 2)은 송수신 주파수 대역에서 500 MHz 이상을 만족하였다. 제작된 안테나의 공진 주파수가 설계치와 비교하여 12 GHz 대역에서 100

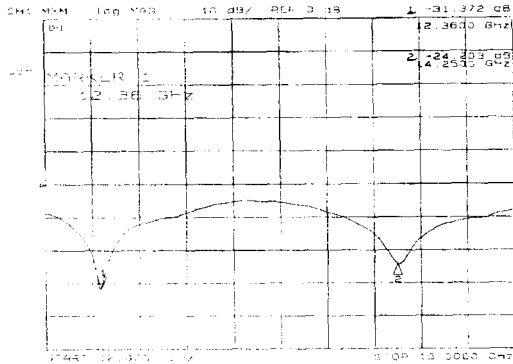
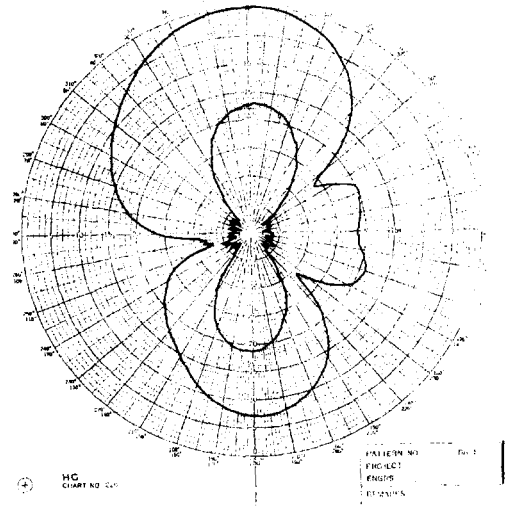


그림 8. 그림 7. 2x2 배열 안테나의 반사손실(측정치)
 Fig. 8. Return loss of 2x2 array antenna
 (Measurement).

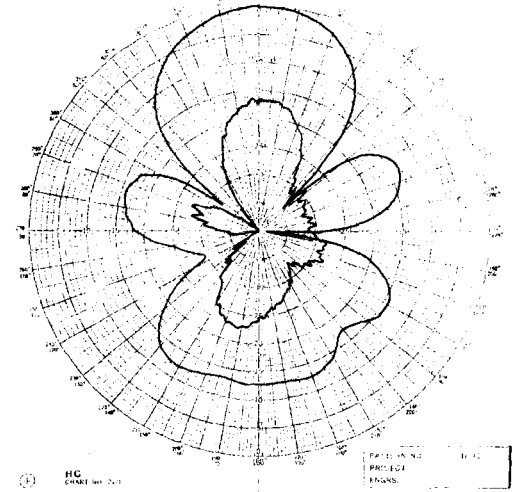
MHz 정도 이동된 것은 상층 기판과 하층 기판이 결합시 발생된 제작상의 오차로 생각된다. 그림 9에 도시된 안테나의 패턴 측정은 전자파 무반사실에서 원거리 측정 방법을 사용하였다. 그림 9(a)는 12.36 GHz에서의 E-plane 방사패턴으로 부엽이 -19 dB, 편파분리도가 -17 dB로 측정되었으며 그림 9(b)는 14.25 GHz에서의 E-plane 방사패턴으로 부엽이 -13 dB, 편파분리도가 -17 dB로 측정되었다. 그림 9에 도시된 안테나의 방사패턴은 8 dB 정도의 후방방사 특성을 보이나, 안테나의 하층 기판에 $\lambda_g/4$ 거리를 두고 도체판을 부착할 경우 안테나의 다른 성능에 변화를 주지 않고 후방방사를 제거할 수 있다. 안테나의 이득은 12.36 GHz에서 10.3 dBi, 14.25 GHz에서 10.1 dBi로 측정되었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 두 개의 사각형 홈이 파인 새로운 형태의 개구면 급전 정사각패치 안테나의 특성을 실험적으로 고찰하였으며 이 안테나의 특성을 이용하여 단일급전에 의한 Ku-밴드 위성통신 송수신겸용 2x2 배열 안테나를 설계 제작하였다. 안테나의 특성분석 결과 S, L, W, G 등 4개의 변경 가능한 파라미터를 가지는 방사소자를 이용하여 원하는 2개의



(a)



(b)

그림 9. 2x2 배열안테나의 방사패턴
 (a) 12.5 GHz에서의 E-Plane 패턴,
 (b) 14.25 GHz에서의 E-Plane 패턴
 Fig. 9. Radiation pattern of 2x2 array antenna.
 (a) E-plane pattern at 12.5 GHz,
 (b) E-plane pattern at 14.25 GHz.

공진 주파수에서 최적의 공진이 발생되고 두 개의

공진점에서의 편파가 상호 수직하도록 설계가 가능함을 확인하였다. Ku-밴드 위성통신 송수신겸용 2×2 배열 안테나 제작을 통한 성능분석 결과 위성통신용으로 사용하기에는 안테나 대역폭, 편파분리도 등 성능향상을 위한 많은 보완 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] Ralph Pokulus and Jaroslaw Usher "Dual-Frequency and Dual-Polarization Microstrip Antennas for SAR Applications," *IEEE Trans. Antenna Propaga.*, vol. AP-46, no. 9, pp. 1289-1296, Sept., 1998.

[2] Y. Bao, et al., "Receiving Dual Polarized Directive Antenna Acting in X Band", in Proceedings of IEEE AP-S symp. pp. 802-812, 1994.

[3] S. E. Davidson and S. A. Long "Dual-Band Microstrip antenna with monolithic reactive

loading", *Electron. Lett.*, vol. 21, no. 20, pp. 936-937, Sep., 1985.

[4] S. S. Zhong and Y. T. Lo, "Single Element Rectangular Microstrip Antenna for Dual Frequency Operation", *Electron. Lett.*, vol. 19, no. 8, pp. 298-300, Apr., 1983.

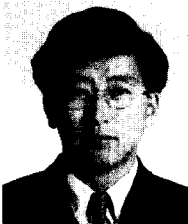
[5] H. Nakano and K. Vichien, "Dual frequency square patch antenna with rectangular notch" *Electron. Lett.*, vol. 26, no. 20, pp. 936-937, Aug., 1985.

[6] Kin-Lu Wong and Kai-Ping Yang, "Small dual-frequency microstrip antenna with cross slot," *Electron. Lett.*, vol. 33, no. 23, pp. 1916-1917, Nov., 1997.

[7] 장준영의 4명, "이중공진 마이크로스트립 안테나에 관한 연구", 한국전자파학회 논문지 제9권 제4호 pp. 515-523, 1998년 8월

[8] T. Edwards *Foundations for microstrip circuit design*, Wiley, New York, pp. 138-169, 1992.

김 규 성



1987년: 연세대학교 전자공학(공학사)
 1990년: 미국 뉴저지공대(공학석사)
 1997년~현재: 한양대학교 전자통신공학과(박사과정)
 1990년~현재: 한국통신 전임연구원

원

[주 관심분야] 위성통신, 안테나

김 태 우



1999년: 한양대학교 전파공학과(공학사)
 1999년~현재: 한양대학교 전파공학과(석사과정)
 [주 관심분야] 안테나 및 마이크로파 소자 설계

최 재 훈



1980년: 한양대학교 전자공학과(공학사)
 1986년: 미국 Ohio State University 전기공학과(공학석사)
 1989년: 미국 Ohio State University 전기공학과(공학박사)
 1989년~1991년: 미국 Arizona State

University 연구교수

1991년~1995년: 한국통신 위성사업본부 연구팀장

1995년~현재: 한양대학교 전파공학부 부교수

[주 관심분야] 이동통신 및 위성통신, 안테나 설계 및 분석, 마이크로 수동소자 설계, 전파전파 모델링