

전후방비가 개선된 Cavity-Backed 마이크로스트립 다이폴 배열 안테나 설계

Design of Cavity-Backed Microstrip Dipole Array Antennas with Enhanced Front-to-Back Ratio

유동균 · 전정익 · 이형기 · 최학근

Dong-Gyun You · Jung-Ik Jeon · Hyoung-Ki Lee · Hak-Keun Choi

요 약

본 논문에서는 TRS(Trunked Radio System: 806~866 MHz) 대역의 전후방비 특성이 우수한 이동통신 기지국용 배열 안테나를 제안하였다. 제안된 배열 안테나는 양호한 전후방비 특성을 갖도록 후면에 캐비티를 둔 마이크로스트립 다이폴 안테나를 복사 소자로 하고, 이를 5×3 배열한 안테나이다. 제안된 안테나의 타당성을 보이기 위하여 5×3 배열 안테나를 설계 제작하고 복사 특성을 측정하였다. 복사 특성 측정 결과, 제안된 배열 안테나는 사용 주파수 범위에서 이득 13.3 dBi 이상, 전후방비 40 dB 이상을 갖는 것으로 나타났다. 이로서 본 논문에서 제안된 배열 안테나는 후방 로브 특성이 우수한 기지국 안테나로 널리 이용될 수 있음이 확인되었다.

Abstract

In this paper, a TRS band(Trunked Radio System: 806~866 MHz) array antenna has a good front-to-back ratio characteristics for the mobile communication base station is proposed. The proposed array antenna is composed of the 5×3 radiated elements which are the microstrip dipole antennas with the cavity-backed reflector. For the validity of the proposed antenna, the 5×3 array antenna is designed, fabricated, and its radiation characteristics are measured. As a result of measurements, the antenna gain is over 13.3 dBi and the front-to-back ratio is over 40 dB at the useable frequency band. We confirm that the designed antenna can be used as the mobile communication base station antenna with the excellent back lobe characteristics.

Key words : Front-to-Back Ratio, Cavity-Backed Antenna, Microstrip Array Antenna, Microstrip Dipole Antenna

I. 서 론

최근 무선통신 분야의 급속한 성장으로 고품질의 서비스가 요구됨에 따라 중계기의 필요성이 높아지고 있다. 중계기는 전파 음영 지역이나 차단 지역, 통화 품질이 미약한 장소 등에 설치되어 고품질의 서비스를 제공하기 위해 사용되고 있다^[1]. 일반적으로 이동통신 중계기는 전파의 굴절 및 회절 등으로 인하여 발생하는 페이딩 현상에 의해 성능이 저하되

고 인접 채널에 대한 간섭 문제가 발생된다. 이를 해결하기 위해서는 중계기용 안테나 사이에 간섭이 작아야 한다. 안테나 사이의 간섭을 줄이기 위해서는 송수신 안테나 사이의 이격 거리를 넓게 하는 방법이 있으나, 이는 설치 환경의 제약을 받는다^[2]. 따라서 최근에는 안테나 사이의 간섭을 줄이기 위하여 사이드 로브 및 후방 로브 특성이 우수한 배열 안테나가 요구되고 있다. 배열 안테나의 사이드 로브 및 후방 로브 특성은 사용된 배열 소자의 복사 특성과

단국대학교 전자공학과(Dept. of Electronic Engineering, Dankook University)

· 논문 번호 : 20080929-124

· 수정완료일자 : 2009년 1월 5일

배열 간격 및 급전 전력 분포에 따라 결정된다. 후방 로브 특성이 우수한 안테나로는 복사 소자 후면에 캐비티를 갖는 cavity-backed 안테나가 있다. Cavity-backed 안테나는 주로 단일 안테나로서 사용되며, 복사 소자로 스파이럴 안테나, 다이폴 안테나, 패치 안테나, 적층 형식의 안테나 등이 이용되어왔다^{[3]~[8]}. 이러한 복사 소자는 프로브(probe) 급전에 적합하여 배열 안테나로는 널리 이용되고 있지 않으며, 또한 적층 구조의 경우 단일 안테나의 이득과 대역폭은 증가하지만, 제작비용 증가와 구현에 제한을 가진다. 특히 복사 소자와 급전 회로가 공평면상에 같이 구성되고, 각 소자 마다 캐비티가 장착된 배열 안테나^{[9],[10]}를 이용한 전후방비 개선용 안테나에 대한 연구는 활발히 이루어지지 않고 있다. 따라서 전후방비 개선용 배열 안테나를 구현하기 위해서는 기존의 프로브(probe) 급전이 아닌 제조가 쉽고, 급전선 삽입 위치를 조절하기 용이한 마이크로스트립 급전 방식으로 변환한 cavity-backed 안테나를 구현하여 공평면상에 복사 소자와 급전 회로의 구성을 용이하게 할 필요가 있다.

이에 본 논문에서는 TRS 대역(806~866 MHz)에서 전후방비(F/B: Front-to-Back Ratio) 특성이 우수한 cavity-backed 마이크로스트립 다이폴 배열 안테나(cavity-backed microstrip dipole array antenna)를 설계 제작하고 복사 특성을 측정하여 전후방비 특성이 우수한 TRS 기지국용 안테나로 제시한다. 이를 위해서 우선 배열 소자로서 cavity-backed 반사판을 갖는 마이크로스트립 다이폴 안테나를 설계 제작하고 복사 특성을 도출한다. 그리고 배열 이론^{[11],[12]}을 적용하여 설계된 배열 소자의 배열 간격과 급전 전력비에 따른 복사 특성을 계산하고 검토하여 40 dB 이상의 전후방비 특성을 갖는 배열 안테나를 설계한다. 설계된 안테나를 실제 제작하여 복사 패턴을 측정함으로써 전후방비 특성이 우수함을 보이고자 한다.

II. 전후방비 개선 배열 안테나 설계

여기서는 TRS 대역에서 전후방비가 40 dB 이상인 마이크로스트립 다이폴 배열 안테나를 설계한다.

2-1 복사 소자 설계

그림 1은 전후방비 특성을 개선하기 위하여 제안

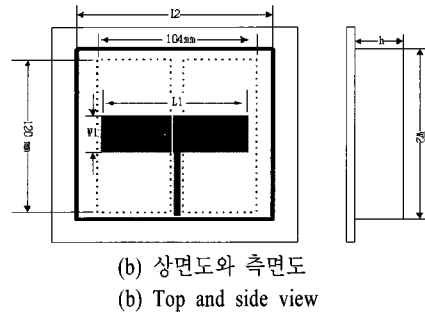
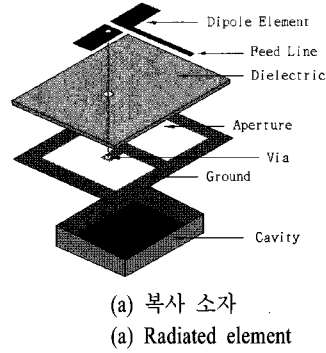
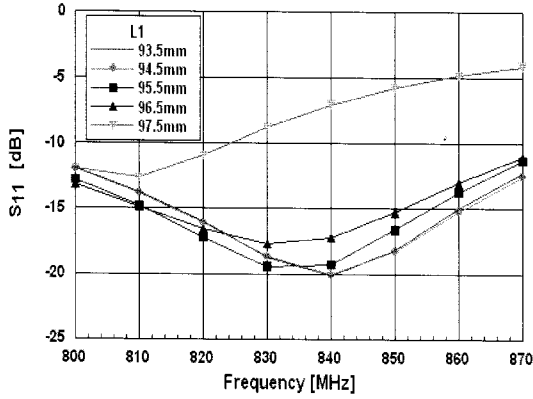


그림 1. Cavity-backed 마이크로스트립 다이폴 안테나의 구조
Fig. 1. Structure of a cavity-backed microstrip dipole antenna.

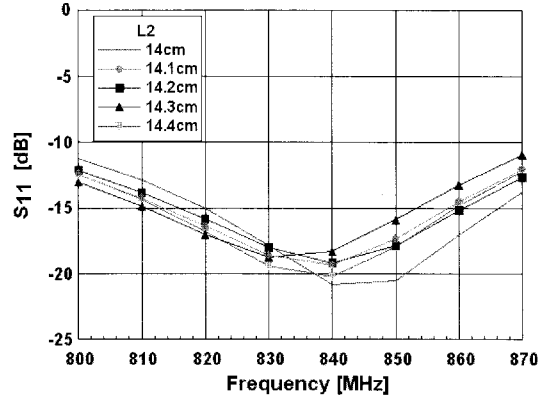
된 배열 안테나의 복사 소자의 구조이다. 제안된 안테나는 복사 소자의 한쪽을 마이크로스트립 라인으로 다른 한쪽은 via를 통하여 그라운드 면에 연결함으로써 다이폴 소자로 동작하게 하였다. 또한, 복사 소자의 후면에는 반사판의 가장자리를 접어 올린 캐비티가 부착되어 있다. 안테나의 구조 파라미터는 다이폴 소자의 길이 L_1 과 폭 W_1 , 캐비티의 가로 길이 L_2 , 세로 길이 W_2 , 높이 h 이다. 그림 1(a)에서 개구(aperture)와 다이폴 소자를 포함하는 마이크로스트립 기판은 FR-4 기판(유전율=4.5, 두께=1.6 mm, 손실 탄젠트=0.02)이다.

여기서는 그림 1의 구조 파라미터 변화에 따른 안테나 복사 특성을 계산하고, 그것으로부터 복사 소자를 설계한다. 복사 특성은 CST사의 MWS를 사용하여 계산한다.

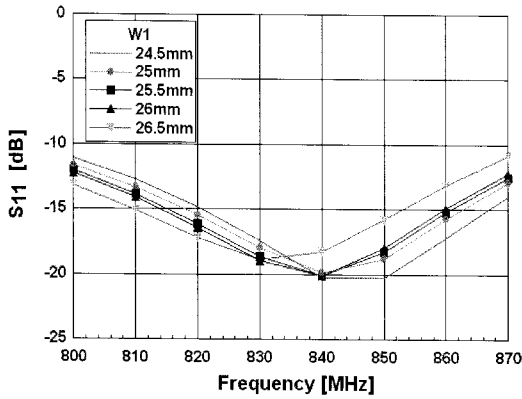
그림 2는 그림 1(b)의 구조에서 다이폴의 크기를 변화시키면서 계산한 반사 손실이다. 그림 2(a)는 L_2 를 140 mm, W_2 를 136 mm, h 를 33 mm, W_1 를 25.5 mm로 하고, 다이폴의 길이 L_1 을 93.5 mm에서 97.5



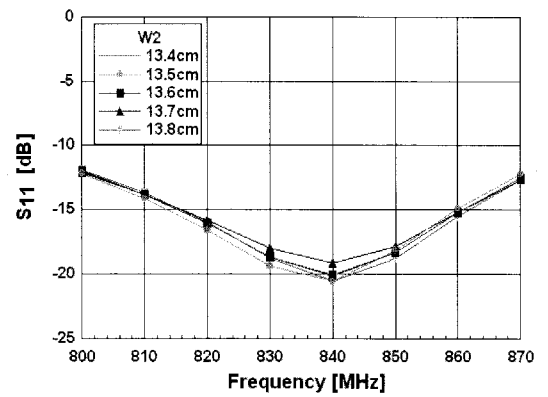
(a) L_1 에 따른 반사 손실
(a) Return loss versus L_1



(a) L_2 에 따른 반사 손실
(a) Return loss versus L_2



(b) W_1 에 따른 반사 손실
(b) Return loss versus W_1



(b) W_2 에 따른 반사 손실
(b) Return loss versus W_2

그림 2. L_1 과 W_1 변화에 따른 반사 손실
Fig. 2. Return loss as functions of L_1 and W_1 .

그림 3. L_2 와 W_2 변화에 따른 반사 손실
Fig. 3. Return loss as functions of L_2 and W_2 .

mm까지 변화시키면서 계산한 반사 손실($-S_{11}$)이다. L_1 의 길이가 94.5 mm일 때 사용주파수 대역에서 약 14 dB 이상(VSWR 1.5 이하)의 반사 손실을 나타내고 있다. 그림에서 L_1 이 97.5 mm일 때 S_{11} 이 급격히 증가하고 있다. 이는 다이폴의 길이가 개구의 가장자리에 가까워짐으로써 나타나는 현상으로 생각된다.

그림 2(b)는 그림 2(a)를 계산할 때 사용한 캐비티와 같은 캐비티를 사용하고 다이폴의 길이 L_1 을 94.5 mm로 했을 때 다이폴의 폭 W_1 을 변화시키면서 계산한 반사 손실이다. W_1 이 25.5 mm일 때 가장 양호한 특성을 갖는다.

그림 3은 L_1 을 94.5 mm, W_1 을 25.5 mm, h 를 33 mm로 고정하고, 캐비티의 가로 길이 L_2 와 세로 길

이 W_2 를 변화시키면서 계산한 반사 손실이다. 그림 3(a)는 W_2 를 135 mm로 하고 L_2 를 변화시키면서 계산한 반사 손실이고, 그림 3(b)는 L_2 를 141 mm로 하고 W_2 를 변화시키면서 계산한 반사 손실이다. L_2 가 141 mm이고, W_2 가 135 mm일 때 반사 손실 특성이 사용주파수 대역에서 14.5 dB 이상으로 나타나고 있다.

그림 4는 그림 2와 그림 3에서 얻어진 비교적 양호한 반사 손실 특성을 갖는 안테나 구조 파라미터 $L_1=94.5$ mm, $W_1=25.5$ mm, $L_2=141$ mm, $W_2=135$ mm로 하고 캐비티의 높이 h 를 변화시키면서 계산한 반사 손실이다. h 의 높이가 34 mm일 때 반사 손실 특성이 15 dB 이상으로 양호하게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한, 그림 4에서 캐비티의 높이 h 는 반사 손실

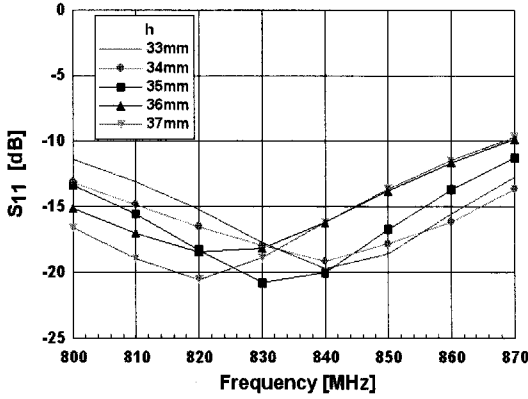


그림 4. h 변화에 따른 반사 손실
Fig. 4. Return loss as a function of h .

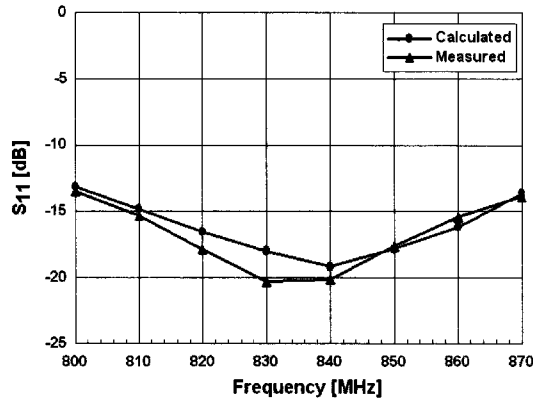


그림 5. Cavity-backed 마이크로스트립 다이폴 안테나의 반사 손실
Fig. 5. Return loss of the cavity-backed microstrip dipole antenna.

에 큰 영향을 주는 것으로 확인되었다.

그림 5는 그림 2, 3, 4로부터 가장 반사 손실 특성이 우수하다고 판단되는 구조 $L_1=94.5$ mm, $W_1=25.5$ mm, $L_2=141$ mm, $W_2=135$ mm, $h=34$ mm를 갖는 cavity-backed 마이크로스트립 다이폴 안테나를 제작하여 Agilent사의 8720ES 네트워크 분석기를 사용하여 반사 손실을 측정하였다. 측정 결과는 계산결과와 유사하며, 사용주파수 대역에서 반사 손실 14 dB 이상으로 양호한 특성을 보여준다.

그림 6은 제작된 cavity-backed 마이크로스트립 다이폴 안테나의 복사 패턴을 나타낸다. 안테나의 이득은 사용주파수 전 대역에서 6.1~6.6 dBi(계산치: 6.0~6.7 dBi)으로 나타났으며, E 면 빔 폭은 80°~80.5°

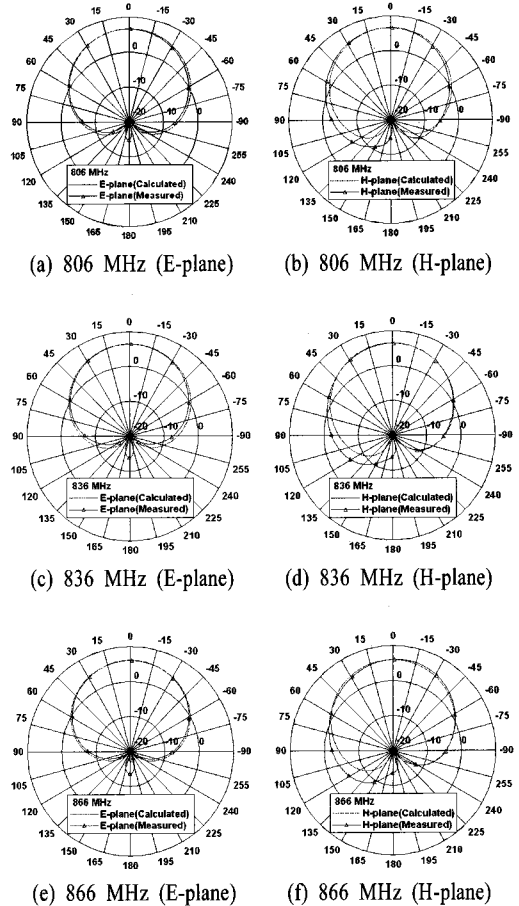


그림 6. 제작된 안테나의 복사 패턴
Fig. 6. Radiation pattern of the fabricated antenna.

(계산치: 82°~84.5°), H 면 빔 폭은 85.5°~87°(계산치: 83.1°~88.5°), 전후방비(0° 방향 대비 180° 방향의 전계 세기)는 19~21.6 dB (계산치: 23~28.8 dB)로 나타났다.

2-2 배열 안테나 설계

여기서는 앞에서 설계한 cavity-backed 다이폴 안테나를 배열 소자로 하는 5×3 배열 안테나를 설계한다. 높은 전후방비 특성을 갖도록 하기 위하여 배열 이론을 이용하여 배열 소자의 간격과 각 소자에 공급될 전력 분포를 결정한다^{[11]~[13]}. 이를 위해 중심주파수 836 MHz에서 그림 6의 복사 패턴을 갖는 cavity-backed 마이크로스트립 다이폴 안테나를 H 면 방향으로 3개, E면 방향으로 5개를 배열하고 배열 간격과 전력 분포에 따른 복사 패턴을 계산하여 전후방

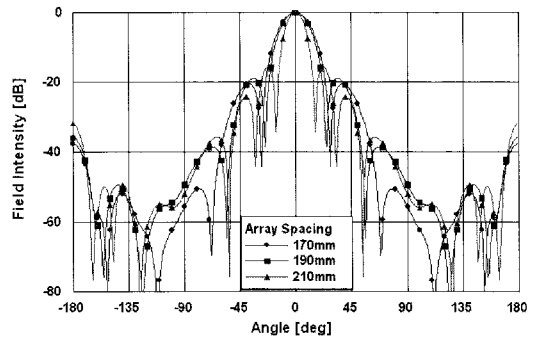
비가 40 dB 이상을 만족하는 배열 간격과 전력 분포를 결정한다. 이 때 40 dB 이상의 전후방비를 만족하는 배열 간격과 전력 분포들 중에 배열 간격은 급전 회로 구현이 가능하면서 가장 좁은 간격, 전력 분포는 급전 회로 구현이 용이한 분포를 선택한다.

그림 7은 수직으로 배열된 5 소자에 대하여 배열 간격과 전력 분포에 따른 복사 패턴을 나타내고 있다. 그림 7의 (a)는 균일한 전력 분포에서의 배열 간격에 대한 복사 패턴을 나타낸다. 배열 간격이 넓어질수록 빔 폭이 좁아지고 사이드 로브 레벨이 증가되는 것을 알 수 있다. 그림 7의 (b)는 배열 소자의 전력비를 1:5:12:5:1로 하였을 때 배열 간격에 따른 복사 패턴을 나타낸다. 균일한 전력비에 비해 사이드 로브 특성이 개선됨을 알 수 있다. 그림 7의 (c)는 전력비를 1:9:20:9:1로 하였을 때 배열 간격에 따른 복사 패턴을 나타낸다. 배열 간격이 170 mm일 때 전후방비가 약 40 dB 이상 양호하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 따라서 여기서는 수직 5 소자의 간격과 전력비를 170 mm와 1:9:20:9:1로 한다.

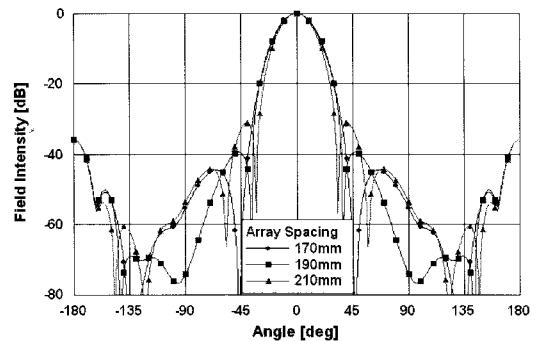
그림 8은 수평으로 배열된 3 소자에 대하여 배열 간격과 전력 분포에 따른 복사 패턴을 나타내고 있다. 그림 8의 (a)는 균일한 전력 분포일 때 배열 간격에 따른 복사 패턴이다. 배열 간격이 넓어질수록 사이드 로브 레벨이 증가함을 알 수 있다. 그림 8 (b)는 배열 소자의 전력비를 1:2:1로 하였을 때의 배열 간격에 따른 복사 패턴을 나타낸다. 균일 전력 분포에 비해 사이드 로브 특성이 개선되는 것을 알 수 있다. 그림 8의 (c)는 전력비를 1:4:1로 하였을 때의 배열 간격에 따른 복사 패턴을 나타내었다. 전후방비가 특성이 약 40 dB 이상으로 양호하게 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 여기서는 수평 3 소자의 간격과 전력비를 165 mm와 1:4:1로 한다.

그림 9는 그림 7과 8로부터 결정된 수직 배열 간격 170 mm, 수평 소자 간격 165 mm, 수직 소자의 전력비 1:9:20:9:1, 수평 소자의 전력비 1:4:1을 갖는 5×3 배열 안테나의 급전 회로이다. 급전 회로의 출력 포트 15개는 각각의 다이폴 소자에 연결되며, 위상차가 4° 이하가 되도록 설계하였다. 급전 회로 설계 시 급전 회로의 출력 포트와 다이폴 소자의 입력 포트는 각각 50 Ω으로 가정하였으나 실제 배열 안테나 제작 시 급전 회로의 출력 포트와 다이폴 소자

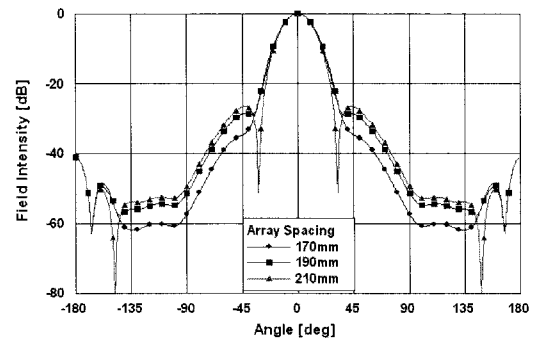
의 입력포트 사 사이에 임피던스 차이가 발생하였다. 이를 보상하기 위하여 급전 회로 출력단에 연결되는 다이폴 소자의 입력단에 임피던스 정합부분을 두었다. 급전 회로는 유전체 두께 1.6 mm, 유전률 4.5, 손실탄젠트=0.02 인 FR-4 기판으로 설계 제작되었으며, 크기는 557×997 mm이다.



(a) 1:1:1:1:1



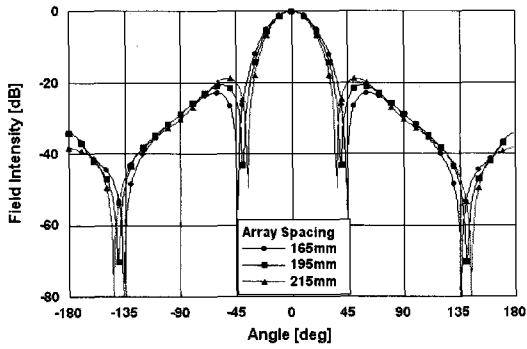
(b) 1:5:12:5:1



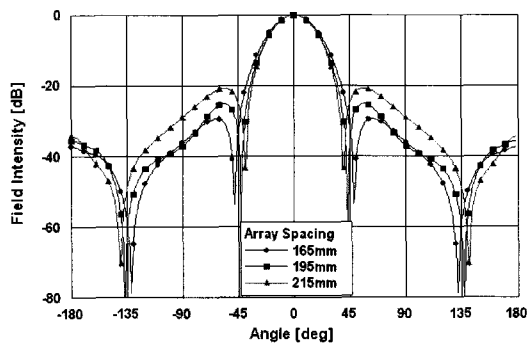
(c) 1:9:20:9:1

그림 7. 배열 간격과 전력 분포에 따른 복사 패턴 (수직 배열)

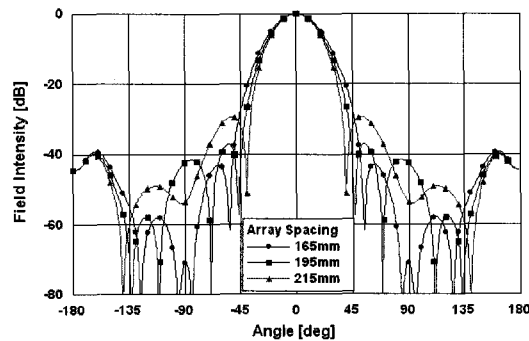
Fig. 7. Radiation pattern as functions of the array spacing and the power distribution (vertical array).



(a) 1:1:1



(b) 1:2:1



(c) 1:4:1

그림 8. 배열 간격과 전력 분포에 따른 복사 패턴 (수평 배열)

Fig. 8. Radiation pattern as functions of the array spacing and the power distribution (horizontal array).

III. 측정 결과

앞에서 설계된 단일 복사 소자와 급전 회로를 이용하여 전후방비를 개선한 cavity-backed 마이크로 스트립 다이폴 배열 안테나를 제작하고 성능을 측정하였다.

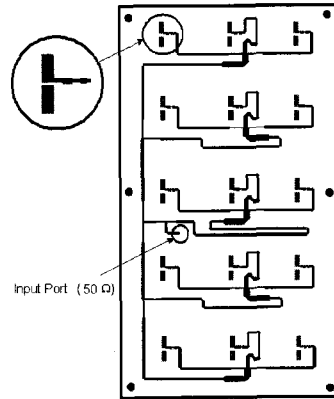


그림 9. 설계된 급전 회로

Fig. 9. Designed feed network.



그림 10. 제작된 cavity-backed 마이크로스트립 다이폴 배열 안테나

Fig. 10. Fabricated cavity-backed microstrip dipole array antenna.

그림 10은 제작된 안테나의 외관이다. 각각의 다이폴 소자의 후면에 캐비티가 부착되어 있다.

그림 11은 제작된 배열 안테나의 반사 손실을 측정한 것이다. 전 대역에서 약 14 dB 이상 (VSWR < 1.5)의 반사 손실을 보여주고 있다.

그림 12는 제작된 배열 안테나의 복사 패턴을 나타낸다. 그림에서 복사 패턴의 측정치는 계산치와 유사하게 나타나고 있으며, 사이드 로브 및 전후방비가 매우 우수하다는 것을 확인할 수 있다. 제작된 배열 안테나의 이득은 사용주파수 대역(806~866 MHz)에서 13.3~13.5 dBi(계산치: 15.89~16.6 dBi)로 나타났다. E면 빔 폭은 28.5°~31°(계산치: 27°~28.5°), H면 빔 폭은 38°~43°(계산치: 38.5°~40°), 전후방

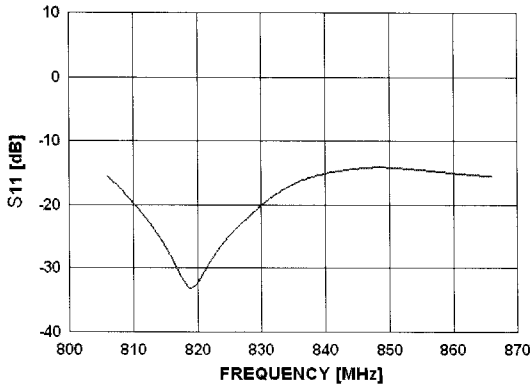


그림 11. 설계 안테나의 측정된 반사 손실
Fig. 11. Measured return loss of the designed antenna.

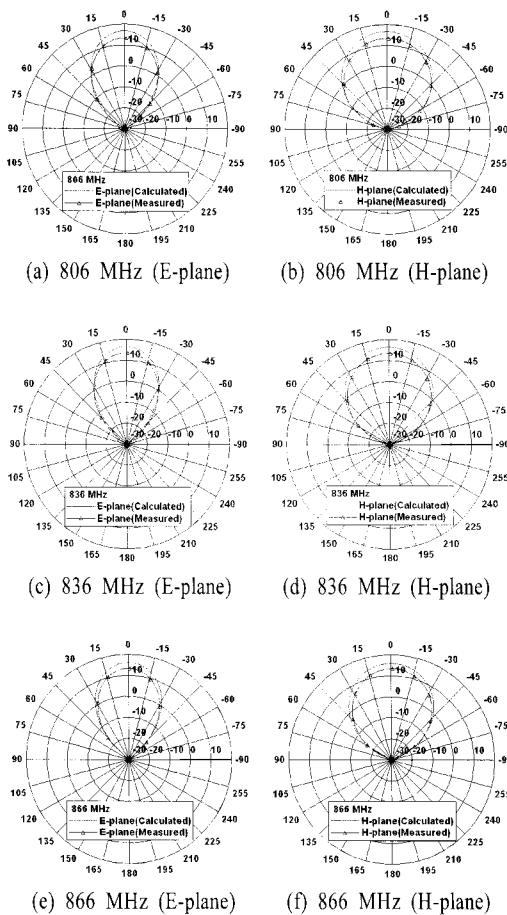


그림 12. 설계된 안테나의 복사 패턴
Fig. 12. Radiation pattern of the designed antenna.

비는 40.6~42.6 dB(계산치: 40.4~41.3 dB)로 나타났다. 빔 폭과 전후방비 특성은 측정치와 계산치가 비

슷하게 나타나고 있으나, 이득에 있어서는 측정치와 계산치 사이에 약 3 dB 정도의 차이를 보이고 있다. 이는 FR-4 기판을 사용하여 구성한 급전 회로에서의 손실로 생각된다.

IV. 결론

본 논문은 안테나 사이의 간섭을 줄이기 위하여 전후방비와 사이드 로브 특성을 개선한 cavity-backed 마이크로스트립 다이폴 안테나를 5×3 배열 안테나로 설계 제작하고 복사 특성을 측정하였다. 측정 결과, 5×3 배열 안테나의 반사 손실은 사용주파수 대역 806~866 MHz에서 14 dB 이상(VSWR<1.5)으로 나타났으며, 전후방비는 40 dB 이상을 갖는 것으로 나타났다. 이로서 본 논문에서 제시된 cavity-backed 마이크로스트립 다이폴 배열 안테나와 급전 회로는 안테나 사이의 간섭을 줄이기 위한 전후방비 개선용 안테나와 급전 회로로 널리 사용될 수 있을 것으로 확신한다.

참고 문헌

- [1] 박영호, 신재철, 천창율, "1,900 MHz 대역 중계기 안테나의 격리도 개선", 한국정보통신설비학회 하계 학술대회 논문집, pp. 289-292, 2003년 8월.
- [2] W. T. Slingsby, J. P. McGeehan, "Antenna isolation measurements for on-frequency radio repeaters", *1995 Antennas Propagat. ICAP*, vol. 1, pp. 239-243, Apr. 1995.
- [3] A. Kumar, H. D. Hristov, *Microwave Cavity Antennas*, Artech House, ch. 1-2, 1989.
- [4] J. Thaysen, K. B. Jakobsen, and H.-R. Lenler-Eriksen, "Wideband cavity-backed spiral antenna for stepped frequency ground penetrating radar", *IEEE AP-S International Symposium*, vol. 1, pp. 418-421, 2005.
- [5] P. K. Singhal, S. Banerjee, "A cavity-backed rectangular patch antenna", *IEEE Trans. Antennas Propagat and EM Theory*, 2003 *6th International Symposium*, pp. 112-115, Nov. 2003.
- [6] J. Grzyb, D. Liu, and B. Gaucher, "Packaging effects of a broadband 60 GHz cavity-backed folded dipole superstrate antenna", *IEEE AP-S International Symposi-*

sium, pp. 4365-4368, Jun. 2007.

[7] B. A. Brynjarsson, T. Syversen, "Cavity-backed, aperture coupled microstrip patch antenna", *IEEE International Conference on AP*, vol. 2, pp. 715-718, 1993.

[8] J. Gong, J. L. Volakis, "Analysis of nonrectangular cavity-backed patch antenna using edge-based hybrid finite element method with BiCG-FFT solver", *IEEE AP-S International Symposium*, vol. 2, pp. 960-963, Jul. 1993.

[9] M. A. Gonzalez de Aza, J. A. Encinar, and J. Zapata, "Radiation pattern computation of cavity-backed and probe-fed stacked microstrip patch arrays", *IEEE*

Trans. Antennas Propagat., vol. 48, pp. 502-509, Apr. 2000.

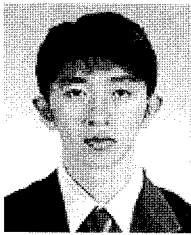
[10] Frank Zavosh, James T. Aberle, "Infinite phased arrays of cavity-backed patches", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 42, no. 3, pp. 390-398, Mar. 1994.

[11] R. J. Mailloux, *Phased Array Antenna Handbook*, Artech House, ch. 1, 1994.

[12] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, John Wiley, New York, ch. 3, 7, 1981.

[13] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, John Wiley, New York, ch. 6, 7, 1982.

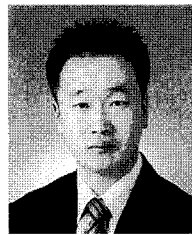
유 동 균



마이크로파 회로

2006년 8월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
 2006년 9월~현재: 단국대학교 전자 컴퓨터공학과 석사과정
 2007년 2월~현재: (주)텔콤코리아 연구원
 [주 관심분야] 안테나 및 전파전파,

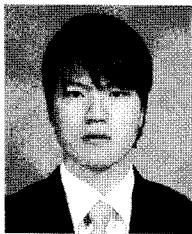
이 형 기



개인 안테나 선임연구원
 2006년 9월~현재: (주)텔콤코리아 선임연구원
 [주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파회로

2002년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
 2004년 2월: 단국대학교 전자컴퓨터공학과 (공학석사)
 2007년 3월~현재: 단국대학교 전자 컴퓨터공학과 박사과정
 2004년 2월~2006년 9월: (주)하이

전 정 익



마이크로파 회로

2007년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
 2008년 9월~현재: 단국대학교 전기전자공학과 석사과정
 2007년 2월~현재: (주)텔콤코리아 연구원
 [주 관심분야] 안테나 및 전파전파,

최 학 근



자공학과 교수
 2006년 7월~현재: 단국대학교 공학교육혁신센터장
 1989년 3월~현재: (주)하이개인안테나 기술고문
 [주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파회로

1979년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)
 1981년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
 1988년 8월: 고려대학교 전자공학과 (공학박사)
 1991년 3월~현재: 단국대학교 전