

격리도를 향상시킨 US-PCS택역 맥내용 중계기 안테나

Isolation Enhancement of a US-PCS Antenna for Indoor Repeater.

안정선 (광운대, 석사과정) 이병제 (광운대, 교수) 이종철 (광운대, 교수) 김종현 (광운대, 교수) 김남영 (광운대, 교수) 박면주 (광운대, 교수)

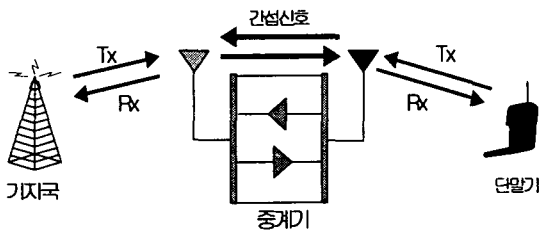
목 차

- I. 서론
- 1. 연구배경 및 목적
- II. 본론
- 1. 안테나 설계 및 격리도 계산
- 2. 안테나 제작 및 측정
- 3. 안테나 간 격리도 측정
- III. 결론

I. 서 론

1. 연구배경 및 목적

이동 통신 시스템에서 전파 음영 지역을 해소하기 위해 미약한 전파를 수신하여 증폭한 후 증폭된 신호를 다시 송신하는 중계기가 이용된다. 그림 1은 중계 장치의 구성도이다.



<그림 1> 중계 장치 구성도

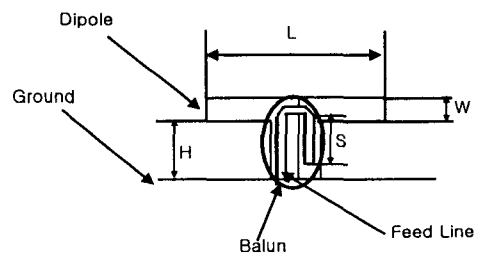
이와 같은 중계기를 통해 동일 주파수로 중계를 수행할 때, 그림 1에서 보이는 바와 같이 강한 송신 신호가 수신 안테나를 통해 중계되어야 할 수신 신호와 함께 수신되는데, 수신 신호에서 강한 송신 신호에 의한 간섭 신호를 제거하는 것은 중계기에서 매우 중요한 문제이다[1]. 이러한 문제를 해결하기 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 일반적으로 중계기에서 수신 신호에 강한 송신 신호의 간섭을 해결하기 위해 송신 안테나를 수신 안테나에서 수 m이상 격리시키거나 안테나 사이에 지형이나, 지물을 이용해 격리시키는 방법을 사용하고 있다. 이는 안테나의 설치를 매우 어렵게 하고 적용환경이 제한되어 사용하는데 많은 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 안테나의 편파 다이버시티를 사용하였으며 또한 단일 캐버티, 멀티 캐버티, 어퍼처 정합 방법을 사용 전후방비를 개선시켜 안테나 간 격리도를 향상시킴으로써 이격거리를 줄인 맥내용 중계기 안테나를 제작하였다[2]-[4].

II. 본 론

1. 안테나 설계 및 격리도 계산

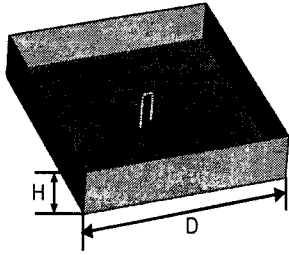
1) 단일 캐버티 PBD(Printed Balun Dipole)안테나

본 논문에서 제안한 안테나는 캐버티를 사용한 PBD(Printed Balun Dipole)구조이다. 이 PBD구조는 선형편파 특성이 우수하고 $VSWR < 2$ 특성이 40%이상의 넓은 대역폭 특성을 가지고 있다[5]. 또한 안테나의 후방사를 줄이기 위해 캐버티를 사용하였다[2]. 그림 2는 PBD 안테나의 구조이다.



<그림 2> PBD(Printed Balun Dipole) 안테나

기판은 상대 유전율 4.7, 높이 1.6mm인 FR4를 사용하였다. 길이 L은 $0.4\lambda_0$ 인 63mm이고 폭은 $0.05\lambda_0$ 인 8mm 이다. 급전선의 오픈점에서 다이폴까지의 거리는 $1/4\lambda_g$ 인 21mm 이다. 그라운드에서 다이폴까지의 높이는 그라운드와 수평다이폴의 관계[6], 그리고 급전선의 길이를 고려하여 20mm로 하였다. 그림 3은 후방방사 특성을 고려하여 캐버티를 사용한 PBD안테나이다.

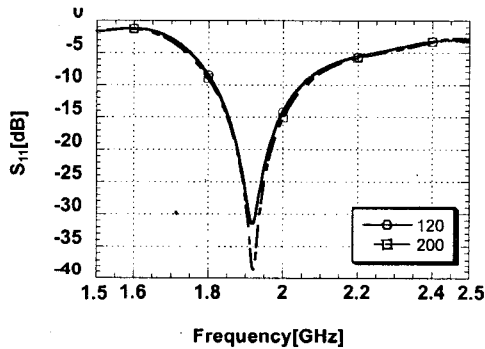


<그림 3> 캐버티를 사용한 IBD 안테나

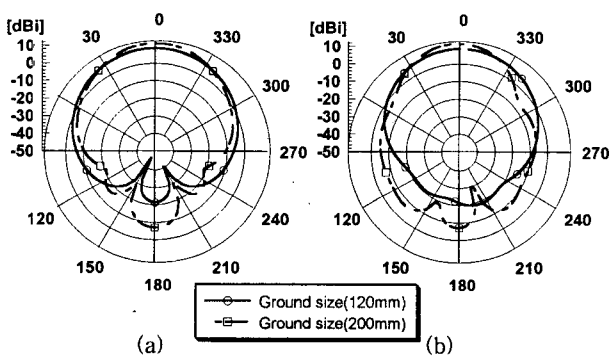
그라운드의 크기와 캐버티의 높이는 식(1)과 캐버티 높이에 따른 이득과 후방방사 특성을 향상시키기 위해 $1.25\lambda_0$ 와 $0.25\lambda_0$ 인 $200 \times 200 \text{ mm}^2$ 와 40 mm 를 제작하였으며 또한 안테나의 이득이 낮지만 안테나의 전체 면적 및 전후방비 특성이 우수한 $120 \times 120 \text{ mm}^2$ 와 40 mm 로 제작하였다. 식(1)에서 나타내는 G 는 지향성이고 A 는 그라운드의 면적이며 η 는 aperture illumination efficiency로 나타내어진다[7].

$$G = \eta \left[\frac{4\pi A}{\lambda^2} \right] \quad (1)$$

그림 4와 그림 5는 캐버티를 사용한 PBD안테나의 반사 손실과 방사 패턴 특성을 모의 실험한 결과를 나타낸 것이다.



<그림 4> 캐버티를 사용한 안테나 반사 손실

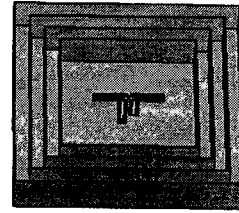


<그림 5> 단일 캐버티 단일 안테나 방사 패턴
(a) E-평면, (b) H-평면

설계된 안테나는 1850~1990MHz의 주파수에서 $VSWR < 1.5$ 를 만족하도록 설계 되었으며 이득은 그라운드의 크기가 $120 \times 120 \text{ mm}^2$ 인 안테나는 8.5dBi, 그라운드의 크기가 $200 \times 200 \text{ mm}^2$ 인 안테나는 11.5dBi를 나타내도록 설계되었다. 또한 전후방비는 27dB와 19dB를 각각 나타내었다. 그라운드의 크기를 $120 \times 120 \text{ mm}^2$ 로 했을 때 우수한 전후방비 특성을

나타낼 수 있다.

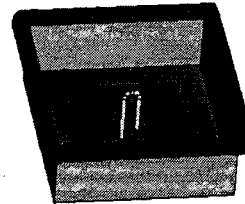
2) 멀티 캐버티 및 엠퍼처 정합방법을 사용한 PBD 안테나 안테나의 전후방비 개선과 부엽 레벨의 효율을 증가시키기 위해 혼 안테나에서 사용되는 골(corrugate)[3]과 엠퍼처 정합방법[4]을 활용하여 멀티 캐버티를 사용했으며 캐버티의 끝부분에 금속 원통을 다는 엠퍼처 정합방법을 사용하였다. 그림 6은 멀티 캐버티를 사용한 안테나이다.



<그림 6> 멀티 캐버티를 사용한 IBD 안테나

그라운드의 면적은 $200 \times 200 \text{ mm}^2$, 캐버티의 높이는 전후방비 특성을 고려하여 $0.25\lambda_0$ 인 40 mm , 캐버티간 간격은 $0.08\lambda_0$ 인 13 mm 로 하였다.

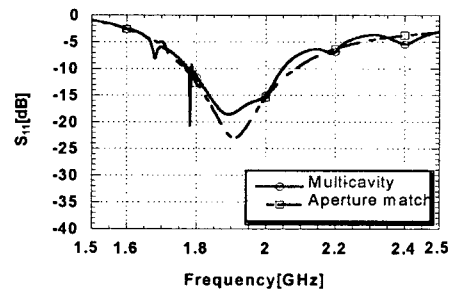
그림 7은 엠퍼처 정합 방법을 사용한 안테나이다.



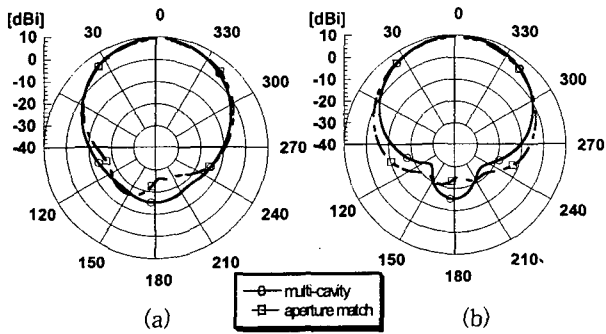
<그림 7> 엠퍼처 정합을 사용한 PBD 안테나

이 안테나는 그라운드의 면적을 $120 \times 120 \text{ mm}^2$, 캐버티의 높이는 $0.25\lambda_0$ 인 40 mm , 원통의 반지름은 $0.05\lambda_0$ 인 8 mm 로 하였다.

그림 8과 그림 9는 멀티 캐버티를 사용한 안테나와 엠퍼처 정합을 사용한 안테나의 반사 손실과 방사 패턴을 모의 실험한 결과이다.



<그림 8> 멀티 캐버티와 엠퍼처 정합을 사용한 안테나 반사 손실



<그림 9> 멀티 캐버티 및 어퍼처 정합을 사용한 안테나 방사 패턴
(a) E-평면, (b) H-평면

설계된 안테나는 1850~1990MHz의 주파수에서 각각 $VSWR < 2$ 를 만족하도록 설계되었으며 이득은 멀티 캐버티를 사용한 안테나는 9.5dBi, 어퍼처 정합 방법을 사용한 안테나는 8.5dBi를 나타내도록 설계되었다. 또한 전후방비는 28dB와 33dB를 각각 나타내었다. 단일 캐버티보다 멀티 캐버티를 사용한 것이 더 좋은 전후방비 특성을 나타내었다. 그리고 어퍼처 정합을 함으로서 멀티 캐버티보다 전후방비 특성을 더욱 향상시킬 수 있었다.

3) 격리도 계산

안테나의 이득이 크면 중계기에서는 그만큼 낮은 이득을 요구하게 된다. 또한 안테나 사이의 격리도는 중계기 이득에 최소한 10dB이상의 값을 가져야 한다. 그러므로 전후방비가 높은 안테나가 격리도 확보에 우수한 특성을 나타낸다. 식 (2)은 격리도를 구하는 식이다.

$$I = PL + SL + DL \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

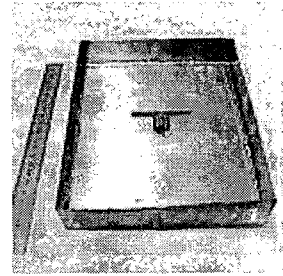
여기서 I는 격리도, PL은 경로손실, SL은 Server 안테나의 손실, DL은 Donor 안테나의 손실이다. 또 PL은 식(3)과 같이 나타낼 수 있다[7].

$$PL = (\lambda/4\pi R)^2 \quad (3)$$

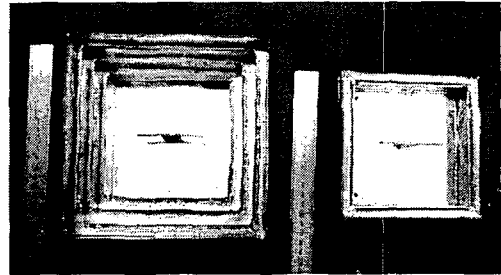
$$= -27.55 + 20 \log(f_{\text{MHz}}) + 20 \log(d_m) \quad [\text{dB}]$$

2. 안테나 제작 및 측정

그림 10은 단일 캐버티를 사용한 단일 안테나 및 멀티 캐버티와 어퍼처 정합을 사용한 안테나의 실제 모습이다. 그림 11은 제작된 안테나의 반사 손실을 측정한 것이다. 그림 11(a)는 단일 캐버티를 사용한 안테나의 반사 손실로서 그라운드의 크기가 $120 \times 120 \text{mm}^2$ 인 단일 안테나와 그라운드의 크기가 $200 \times 200 \text{mm}^2$ 인 단일 안테나와 배열 안테나의 반사 손실을 나타낸 것이다. 그림 11(b)는 멀티 캐버티를 사용한 안테나와 어퍼처 정합 방법을 사용한 안테나의 반사 손실을 나타낸 것이다. 각각의 안테나 모두가 US-PCS 대역인 1850~1990MHz에서 $VSWR < 1.5$ 를 만족함을 확인할 수 있다.



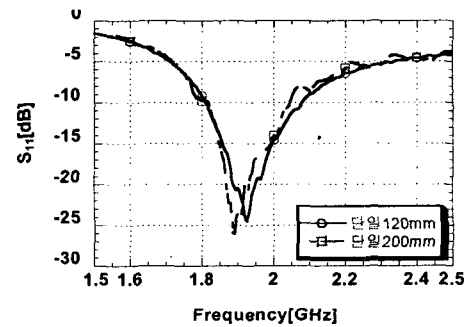
(a)



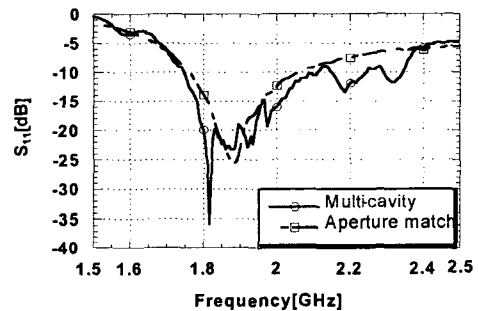
(b)

<그림 10> 제작된 안테나의 실제모습

(a) 캐버티를 사용한 단일 안테나
(b) 멀티캐버티와 어퍼처 정합을 사용한 안테나



(a)

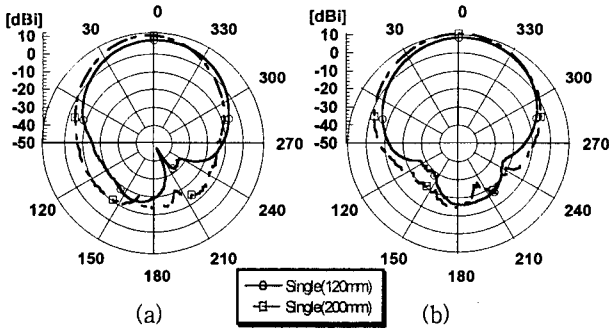


(b)

<그림 11> 안테나 반사 손실

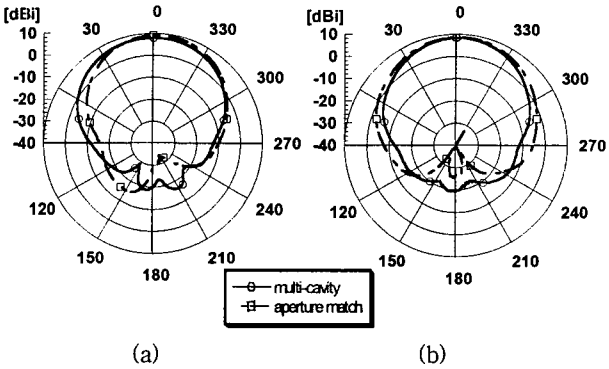
(a) 단일 캐버티를 사용한 안테나 반사 손실,
(b) 멀티캐버티와 어퍼처 정합을 사용한 안테나 반사 손실

그림 12, 13, 14는 각각의 안테나에 대한 중심 주파수 1920MHz에서 방사 패턴을 나타 낸 것이다.



<그림 12> 단일 캐비티 단일 안테나 방사 패턴
(a) E-평면, (b) H-평면

그림 12에서 볼 수 있듯이 그라운드 크기가 120mm인 단일 안테나는 이득 8.5dBi, 전후방비 25dB, HPBW 60°와 60°를 각각 E, H-plane에서 나타내었고 그라운드 크기 200mm인 단일 안테나는 이득 10.5dBi, 전후방비 24dB, HPBW 53°와 46°를 각각 E, H-plane에서 나타내었다.



<그림 13> 멀티 캐비티 및 어퍼처 정합을 사용한 안테나 방사 패턴
(a) E-평면, (b) H-평면

그라운드 크기가 200mm이고 4단 멀티 캐비티를 사용한 안테나는 이득 8.5dBi, 전후방비 28dB, HPBW 73°와 57°를 그라운드 크기가 120mm이고 어퍼처 정합을 사용한 안테나는 이득 9dBi, 전후방비 34dB, HPBW 58°와 55°를 각각 나타내었다. 표 1은 캐비티가 없는 안테나와 제안된 각각의 안테나들의 이득 및 전후방비 특성을 나타낸 것이다.

<표 1> 측정된 안테나 성능

	그라운드크기 [mm]	이득[dBi]	전후방비 [dB]
단일 안테나	120	8	16
단일 안테나	200	9	20
캐비티 안테나	120	8.5	25
캐비티 안테나	200	10.5	24
멀티 캐비티 안테나	200	8.5	28
어퍼처 정합 안테나	120	9	34

위에서 볼 수 있듯이 어퍼처 정합 방법을 사용하였을 경우

전후방비 특성이 우수하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

3. 안테나 간 격리도 측정

제작된 안테나를 후방으로 설치하여 안테나 간 격리도를 측정하였다. 표 2와 표 3은 전자파 무반사실과 건물내의 환경(강의실)에서 안테나 간 이격거리를 100mm로 하여 격리도를 나타낸 것이다. 본 논문에서 사용한 안테나는 덕내용 증계기 안테나를 모델로 하였다. 일반적으로 증계기 안테나들은 수직 편파를 사용하여 설치되지만 덕내용으로 사용할 경우는 덕내의 반사파들이 많이 사용되므로 교차 편파 측정시에는 donor용 안테나는 수직편파, server용 안테나는 수평편파를 사용하여 측정하였다.

또한 단일 캐비티를 사용한 단일안테나의 경우 교차 편파의 격리도가 크게 개선되지 못하였는데 이는 캐비티에 의한 후방편파의 선형적 특성이 틀어지는 것으로 확인할 수 있었다. 또한 실내환경에서 측정된 경우 환경에 의한 반사파들의 간섭이 크게 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

<표 2> 전자파 무반사실에서의 격리도 측정결과

	그라운드크기 [mm]	동일편파 [dB]	교차편파 [dB]
단일 안테나	120	41	52
단일 안테나	200	46	56
캐비티 안테나	120	50	56
캐비티 안테나	200	49	55
멀티 캐비티 안테나	200	53	60
어퍼처 정합 안테나	120	56	65

<표 3> 실내 환경에서의 격리도 측정결과

	그라운드크기 [mm]	동일편파 [dB]	교차편파 [dB]
단일 안테나	120	30	40
단일 안테나	200	40	45
캐비티 안테나	120	44	55
캐비티 안테나	200	44	54
멀티 캐비티 안테나	200	45	57
어퍼처 정합 안테나	120	47	62

III. 결 론

본 논문에서는 증계기에서 신호들간의 간섭을 줄이기 위해 요구되는 안테나간 격리도를 확보하는 연구를 하였다. 사용되는 증계기는 초소형 덕내용 증계기로서 안테나를 모두 덕내에 설치하고자 하였다. 이에 사용하기 위해 후방 편파 특성이 우수한 안테나에 캐비티, 멀티 캐비티 및 어퍼처 정합 방법을 사용하여 격리도 확보를 위한 안테나간 거리를 줄이는 방법을 연구하였다. 표 4는 교차편파와 각각의 방법들을 사용해서 얻은 격리도 향상을 나타낸 것이다.

<표 4> 격리도 향상 비교

	무반사실[dB]	실내환경[dB]
교차편파	5~12	10~15
캐버티사용	1~12	9~17
멀티캐버티사용	4~7	5~12
어퍼처정합사용	13~15	17~22

위에서 볼 수 있듯이 편파 다이버시티를 사용하여 5~15dB의 격리도 향상을 얻을 수 있었으며 다른 기법들을 사용하여 1~22dB의 격리도 향상을 얻을 수 있었다. 또한 격리도 확보를 위해서는 높은 전후방비 특성이 요구됨을 확인할 수 있었고 이에 캐버티에 어퍼처 정합방법을 사용한 안테나가 우수한 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 이는 전파 음영 지역인 건물 내의 환경에서 설치를 용이하게 할 수 있을 것이다.

더욱 낮은 격리도를 요구하는 전파 음영지역에서의 중계기용 안테나를 연구하기 위해 추가적인 연구가 필요하다. 이를 위해 안테나 간 소형 차폐물질을 사용하는 연구와 선로를 통한 누설 전류를 제거하는 방법 등을 연구하고 있다.

참고문헌

1. William C. Y. Lee, Mobile Cellular Telecommunication Systems, McGraw-Hill Book Company, 1989.
2. Kumar, A., and H. D. Hristov, Microwave Cavity Antennas, Artech House, 1989.
3. R. S. Elliott, "On the theory of corrugated plane surfaces," IRE Trans. Antennas Propag., Vol. AP-2, No. 2, pp.71-81, April 1954.
4. W. D. Burnside and C.W. Chuang, "An aperture-matched horn design," IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. AP-30, No.4, pp. 790-796, July 1982.
5. C. A. Balanis, Antenna Theory: Analysis and Design, Wiley, New York, 1982.
6. Ehrenspeck, H. W., "A new class of medium-size high-efficiency reflector antennas." IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol. AP-22, No. 2, March 1974, pp. 329-332.
7. Slingsby, W. T., and McGeehan, J. P., "Antenna isolation measurements for on-frequency radio repeaters," Antennas and Propagation, 1995. ICAP '95. Ninth International Conference vol. 1, (Conf. Publ. No. 407), pp. 239-243, Apr 1995