2-CH WiBro Band MIMO 안테나와 PCS 안테나 간의 격리도 향상을 위한 설계

Design for Isolation Improvement between 2-Channel WiBro-MIMO and PCS Band Antenna

김 민 성 · 민 경 식

Min-Seong Kim · Kyeong-Sik Min

요 약

이 논문은 2-채널 WiBro(Wireless Broadband Internet) 대역 MIMO(Multi Input Multi Output) 안테나와 휴대 단말기용 PCS(Personal Communication Service) 안테나의 격리도 특성 향상에 대해서 나타내었다. 각 채널간의 격리도를 향상시키기 위해, 3 mm 높이의 공기층을 가진 제안된 PCS 안테나는 2-채널 WiBro 대역 MIMO 안테나의 凸형 그라운드(25×12 mm)의 매우 좁은 공간(0.19 λ) 사이에 위치한다. 제안된 PCS 안테나의 구조는 단락 스트립 선로(6×4 mm)를 가지는 스파이럴 형태의 변형된 PIFA(Planar Inverted F Antenna)이다. 3차원 구조를 갖는 제안된 PIFA와 WiBro 대역 MIMO 안테나 사이의 계산된 격리도는 −20 dB 이하이며, 측정치와 잘 일치하였다. 제안된 안테나의 측정된 반사 손실, 대역폭, 이득은 각각 1.8 GHz에서 −20 dB, −10 dB 이하에서 110 MHz(1.76 ~1.87 GHz), 0.05 dBi의 특성을 보였다. 또한, 제안된 PCS용 안테나가 기존의 2-채널 WiBro 대역 MIMO 안테나의 성능과 특성에 영향을 미치지 않음을 확인하였다.

Abstract

This paper presents to improve of isolation characteristics between personal communication service(PCS) antenna in mobile terminal and 2-channel multi input multi output(MIMO) antenna in the wireless broadband internet(WiBro) band. In order to improve the isolation between each channel antenna, the proposed PCS antenna with an air space of 3 mm height is located on the projected(凸) ground plane(25×12 mm) which is very small space(0.19 λ) between the 2-channel WiBro-MIMO antenna. The proposed PCS antenna structure is a modified planar inverted F antenna (PIFA) of spiral type with shorting strip line(6×4 mm). The calculated isolation values between the proposed PIFA with 3-dimensional structure and the MIMO antenna at Wibro band are about −20 dB below and agree well with the measurement. Measured return loss, bandwidth, and gain of the proposed antenna are −20 dB at 1.8 GHz, 110 MHz(1.76~1.87 GHz) band at −10 dB below, and 0.05 dBi, respectively. Moreover, we confirm that the proposed PCS antenna has no influence on performance and characteristics of the conversional 2-channel WiBro-MIMO antenna.

Key words : WiBro, MIMO, PCS Antenna, Isolation Characteristics, PIFA

I. 서 론

MIMO 안테나 시스템은 무선 통신 시스템의 성능을 향상시키기 위한 기술로 잘 알려져 있다[1]. MIMO 안테나 시스템은 종래의 무선 시스템에서 제공하는 것보다 더 많은 채널 용량을 제공한다. 따라서,

「본 연구는 Post-BK21과 2007년도 산업자원부의 지역혁신인력양성사업 지원으로 이루어졌습니다.」

한국해양대학교 전파공학과(Dept. of Radio Science and Engineering, Korea Maritime University)

· 논 문 번 호 : 20071211-146

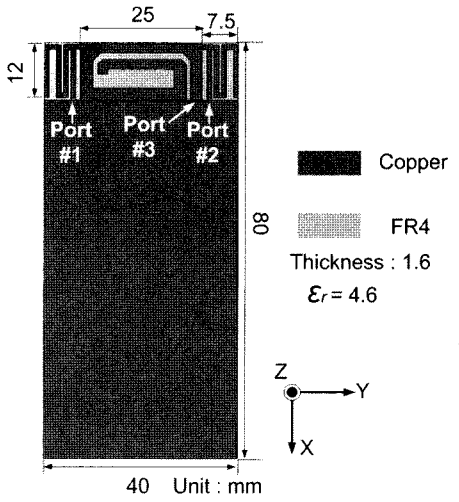
· 수정완료일자 : 2008월 1월 15일

MIMO 안테나 시스템은 무선 통신 시스템의 성능을 충분히 향상시킬 수 있는 서비스 기술로 주목을 받고 있다[2],[3].

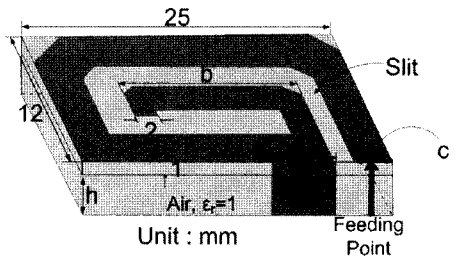
무선 휴대 단말기에 MIMO 안테나 시스템을 구현하기 위해서는 0.5 λ보다 작은 공간 내에 두 개 또는 그 이상의 안테나 소자가 배치되어야 하는 어려움이 있다. 소형의 휴대 단말기는 회로적으로 매우 복잡하고, 작고 좁은 구조로 인해 안테나를 위한 공간은 제한적일 수밖에 없다. 따라서 휴대 단말기에 적용할 MIMO 안테나의 경우, 가까이 배열된 안테나 소자간 방사 결합을 포함한 상호 결합의 영향은 MIMO 안테나의 성능을 저하시키는 주요 원인이 된다. 다시 말해서, 휴대 단말기에 MIMO 안테나 시스템을 적용하기 위해서는 안테나의 크기뿐만 아니라 적합한 안테나 배열법 또한 고려해야 한다는 것이다[4]. 2-채널 WiBro 대역 MIMO 안테나는 참고문헌 [5]에서 제안되었다. 제안된 안테나의 구조는 두 개의 미앤더 안테나로 구성되며, 凸형 구조의 그라운드로 인해 두 안테나 간 상호 결합 특성이 −18 dB 이하인 우수한 특성을 가진다. 휴대 단말기의 다양한 기능을 제공하기 위해 WiBro 서비스뿐만 아니라 PCS 서비스를 지원하기 위해서는 PCS 안테나가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 2-채널 WiBro 대역 MIMO 안테나 사이에 PCS 안테나를 추가한 구조를 제안한다. 특히 기존의 MIMO 안테나[5] 사이는 25 mm(약 0.19 λ)의 매우 좁은 공간이 주어져 있고, 이 공간에 안테나를 추가하는 것은 매우 어려운 일이다. 또한, 기존 안테나의 특성을 그대로 유지하면서 이 논문에서 제안하는 PCS 안테나를 좁은 공간에 배치시켜 각각의 독립된 특성을 얻는 것이 중요하다. WiBro 대역 MIMO 안테나와 동일한 평면에 설계된 안테나[6]는 상호 결합이 −15 dB의 특성을 보였으며, PCS 안테나의 특성이 MIMO 안테나에 영향을 끼쳐 격리도가 낮음을 보이고 있다. 이 논문에서는 격리도의 향상을 위한 3차원 구조를 제안하고 이에 대해 논하고자 한다.

Ⅱ. 3차원 구조의 PCS 안테나 설계

그림 1은 기존의 2-채널 WiBro 대역 MIMO 안테나[5] 사이에 제안된 3차원 구조의 PCS 안테나를 설계한 모델을 나타낸다. 안테나는 그라운드의 영향을 크게 받는 특성을 가지므로, 그라운드의 변형 없이 안테나를 추가하기 위해 MIMO 안테나 사이의 매우 좁은 공간을 활용하여 PCS 안테나를 설계하였다. 이러한 제한적인 공간에서 우수한 특성을 얻기 위해, 소형화에 유리한 미앤더 형태 등의 다양한 PIFA가 많이 연구되고 있으며[7], 그라운드에 의한 영향, 안테나의 위치와 모양 등에 따라서 PIFA의 공진 주파수, 대역폭, 이득 그리고 방사 패턴이 결정된다[8]. 그림 1(b)는 PCS 안테나의 구조를 나타낸다. 스파이럴 형태의 PIFA의 특징은 같은 주파수에서 공진하는 일반적인 PIFA보다 공간을 작게 차지하기 때문에 소형화에 유리하고 다중 공진을 만들 수 있다. 하지



(a) 설계 안테나의 정면도
(a) Front view of design antenna



(b) PCS 안테나의 구조
(b) Structure of PCS antenna

그림 1. 제안된 PCS 안테나를 포함한 설계 안테나의 구조

Fig. 1. Design antenna structure included proposed PCS antenna.

만 스파이럴 형태는 일반 안테나에서 흐르는 전류의 방향과 달라지고 대역폭이 좁아지며 안테나 효율이 떨어지게 된다[9]. 본 논문에서는 매우 좁은 공간에서의 설계를 위해, 비록 안테나의 효율이 다소 떨어지지만 소형화에 유리한 안테나 구조를 고려함으로써 격리도를 향상시킬 수 있는 스파이럴 타입의 PIFA 안테나를 설계에 고려하였다. 구조에 의한 저효율을 보상하기 위하여, 전류의 흐름을 원활하게 하는 설계를 위해 스파이럴 안테나의 위쪽 양 모서리가 굽어진 구조를 가지도록 설계하였다. 그림 1(b)에서 a, b, c, h는 격리도를 향상시키고, 반사 계수를 최적화하기 위한 설계 파라미터들로써, 이들 파라미터들에 대한 최적의 계산이 행해진다.

그림 2는 안테나간의 상호 결합 특성을 고려하여 안테나의 높이 h를 변화시키면서 최적으로 공진하는 높이를 상용 툴인 HFSS를 이용하여 구하였다. 그림 2로부터 알 수 있는 것처럼 그라운드로부터 3 mm의 높이에 PCS용 안테나가 위치할 경우, 가장 잘 공진하는 것을 알 수 있다. 또한, 높이의 변화에 따라서 임피던스의 순저항 성분이 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

그림 3(a)~(c)는 그림 1(b)에 제안된 PCS 안테나의 각 파라미터에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림 3(a)는 단락 스트립 선로 a의 폭 변화에 따른 반사 손실 특성 결과를 나타낸다. 단락 스트립 폭을 1 mm에서 10 mm까지 변화시킨 결과, a값이 6 mm일 때 PCS 안테나는 1.8 GHz에서 −29 dB의 우

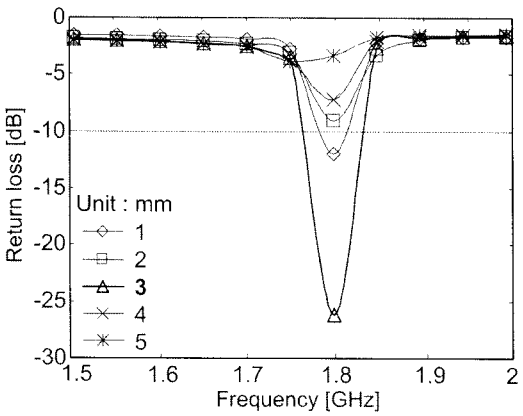
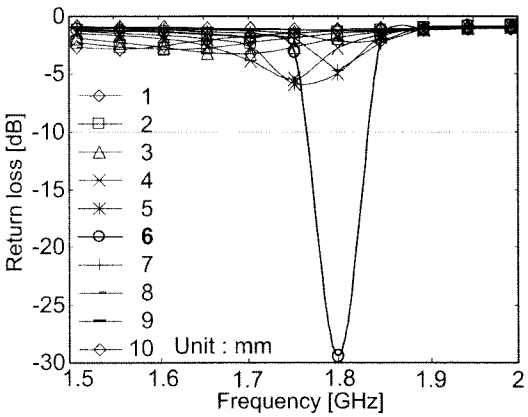
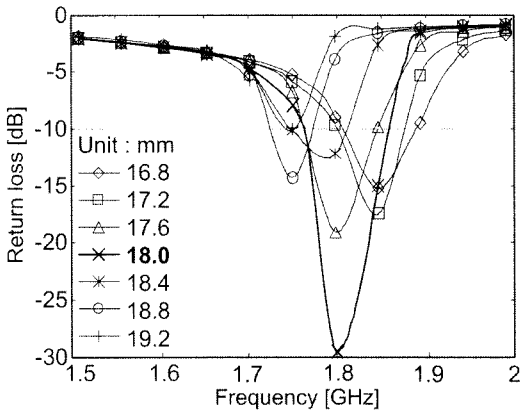


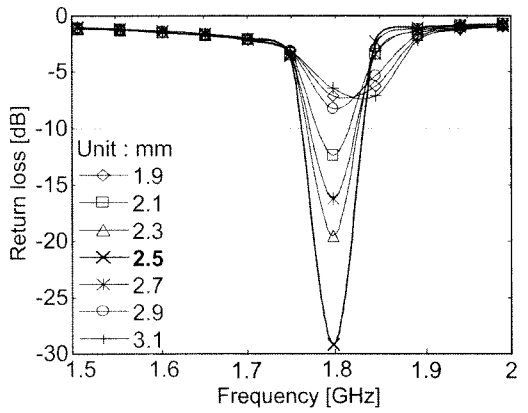
그림 2. 높이 h 변화에 의한 반사 계수
Fig. 2. Return loss by height h variation.



(a) a 변화에 의한 결과
(a) Results by a variation



(b) b 변화에 의한 결과
(b) Results by b variation



(c) c 변화에 의한 결과
(c) Results by c variation

그림 3. PCS 안테나 파라미터에 따른 반사 계수
Fig. 3. Return loss according to parameters of PCS antenna.

수한 특성을 보였다. 그림 3(b)는 스파이럴 안테나의 내부 선로의 길이 b의 변화에 따른 결과를 나타낸 것이다. 16.8 mm에서 19.2 mm까지 변화시켰을 때의 반사 손실 특성을 나타내며, 18 mm일 때 가장 좋은 특성을 보였다. 이 길이가 길어질수록 전체적인 공진 길이가 증가되어 공진 주파수는 하향되며, 임피던스의 변화와 함께 공진 특성이 나빠지는 것을 확인할 수 있다.

그림 3(c)는 단락 스트립 선로와 연결되는 안테나의 선로의 폭 c를 변화시켰을 때의 결과를 나타낸다. 그림 3(c)는 선로의 폭을 1.9 mm에서 3.1 mm로 0.2 mm씩 변화시켰을 때 결과를 나타낸다. 그림 3(c)에서 나타난 결과와 같이 폭이 넓어질수록 공진 특성이 저하되면서 미미하지만, 공진 주파수가 높은 주파수 대역으로 이동되는 현상을 보였다. 이러한 현상이 발생하는 이유는 아래쪽 마이크로스트립 선로(급전부에서 단락 스트립과 연결되어지는 아래쪽 선로)와 가운데 마이크로스트립 선로(단락 스트립에서 위쪽으로 올라가서 안으로 꺾이는 선로) 사이에서 발생하는 커패시턴스의 영향에 의해서 주파수가 고주파 대역으로 이동된다. 여기서 단락 스트립 선로와 만나는 안테나의 선로 폭이 2.5 mm일 때 우수한 특성을 보이는 것을 확인할 수 있다.

그림 4는 그림 3에 보인 결과에서 선택한 각 파라미터 값들(h=3 mm, a=6 mm, b=18 mm, c=2.5 mm)을 적용하였을 때, 1.8 GHz에서 해석한 안테나의 전류 분포를 나타낸다. 최적 파라미터 값들에 의해 안테나의 방사 체부에서 전류가 가장 강하게 분포하고 있음을 확인할 수 있다. 이는 제안된 안테나에서 단락 스트립 선로 a를 고려해 줌으로써 방사되고 남은 에너지가 모두 그라운드로 흘러들어가도록 하였다. 이러한 구조는 각 안테나 간 격리도를 높여주기 위해 고려된 것이다. 따라서 안테나 방사체에 존재하는 전류와 단락 스트립 선로에 분포되는 전류 분포량으로 안테나의 방사 특성과 격리도 특성을 예측할 수 있다.

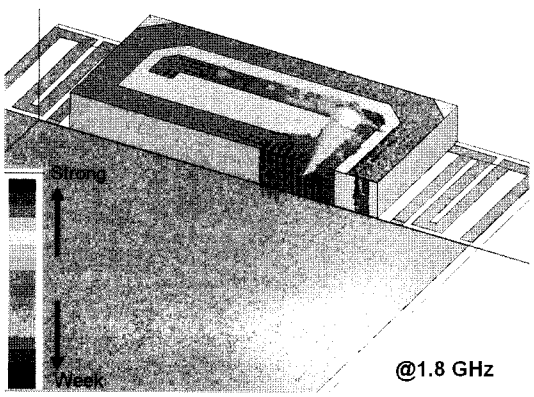


그림 4. PCS 안테나의 전류 분포
Fig. 4. Current distribution of PCS antenna.

그림 5는 PCS 안테나에 단락 스트립 선로가 있는 경우와 없는 경우의 S-파라미터의 결과를 나타낸다. 특히, PCS 안테나의 특성이 WiBro 대역 MIMO 안테나에 어떠한 영향을 끼치는지 나타낸 것이다. 점선과 실선은 각각 단락 스트립 선로가 없을 때와 있을 때 안테나 간 계산된 격리도 특성을 나타낸다. PCS 안테나에 단락 스트립 선로가 있을 때 PCS 안테나와 WiBro 대역 MIMO 안테나의 격리도가 현격히 개선됨을 볼 수 있다. 따라서 단락 스트립 선로가 제안된 PCS 안테나에서 얼마나 중요한 파라미터인지 보여주는 결과라 하겠다. 따라서 그림 5로부터 알 수 있는 것처럼 PCS 대역에서는 7 dB 이상, WiBro 대역에서는 3 dB 이상의 개선 결과를 얻을 수 있다.

그림 6은 2-채널 WiBro 대역 MIMO 안테나와 제안된 PCS 안테나의 S-파라미터 특성을 나타낸 시뮬레이션 결과이다. WiBro와 PCS 안테나 모두 동작 주파수 대역에서 잘 공진하고 있는 특성을 보이고 있다. PCS 안테나의 대역폭은 −10 dB 이하에서 1.76 ~1.87 GHz로 110 MHz이다. 격리도는 PCS와 WiBro

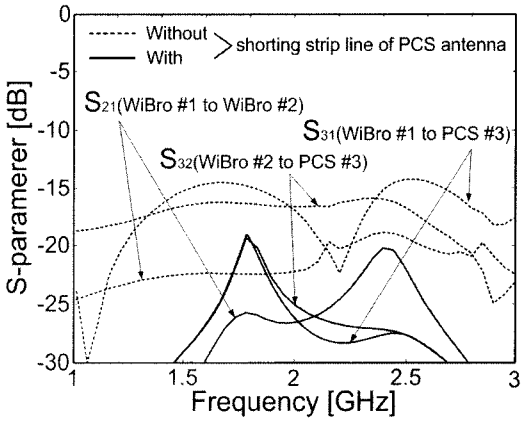


그림 5. 각 안테나의 격리도 특성
Fig. 5. Isolation characteristics of each antenna.

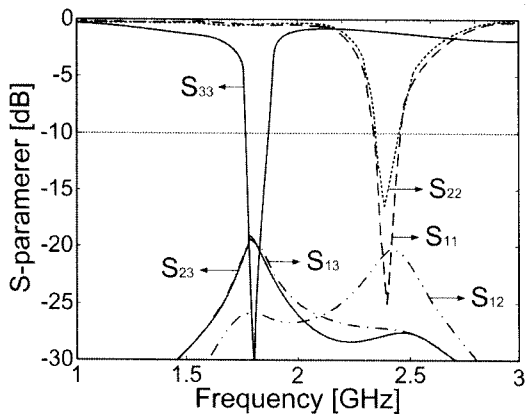


그림 6. PCS 대역 안테나를 설계한 2-채널 WiBro 대역 MIMO 안테나의 계산된 *S*-파라미터
Fig. 6. Calculated *S*-parameters of 2-channel WiBro band MIMO with PCS band antenna.

대역에서 최대 −20 dB 이하로 우수한 특성을 보이고 있다. 이 결과로부터 PCS 안테나가 WiBro 대역 MIMO 안테나에 거의 영향을 끼치지 않음을 알 수 있다. 당연한 현상이기는 하나 S_{13}와 S_{23}는 매우 유사한 값을 가진다. 이는 PCS용 안테나의 급전부가 WiBro 대역 MIMO 안테나의 2-port에 가깝게 위치함으로써 2-port와 3-port의 상호 결합이 1-port와 비교하여 강하게 나타나는 것을 의미한다. 하지만 최적의 설계를 위하여 이 두 port간의 상호 결합도 −20 dB를 얻을 수 있었다.

그림 7은 PCS 안테나의 계산된 방사 패턴 특성을 나타낸다. 실선은 안테나의 Y-Z 평면을 나타내고 있으며, 전형적인 H-평면에 가까운 특성을 보이고 있다. 그렇지만 Y-방향으로 방사 패턴이 찌그러짐 특성을 볼 수 있는데, 이는 안테나의 급전부가 Y-방향으로 치우쳐져 있기 때문이라고 생각된다. 점선은 X-Y 평면(E-평면) 특성을 보이고 있다. E-평면은 전형적인 PIFA의 E-평면에 근접한 특성을 잘 나타내고 있다. 패턴의 찌그러짐 현상은 안테나의 단락 스트립 선로의 영향으로 인해 X-방향에서 후엽과 같은 특성을 보이는 것으로 판단된다.

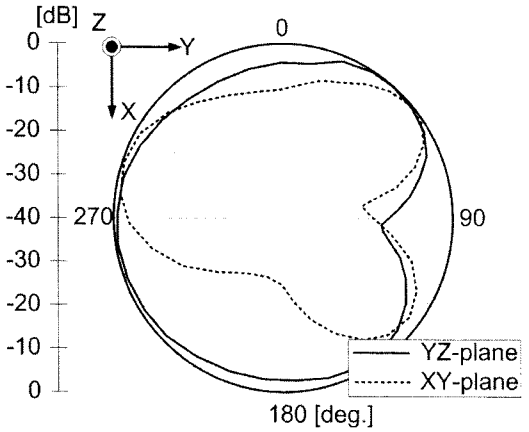


그림 7. 1.8 GHz에서 계산된 PCS 안테나의 방사 패턴
Fig. 7. Calculated radiation patterns of PCS antenna at 1.8 GHz.

Ⅲ. 실험 결과 및 토론

그림 8은 2-채널 WiBro 대역 MIMO/PCS 대역 안테나의 제작된 사진을 나타낸다. 양측 상단이 WiBro 대역에서 동작하는 2-채널 안테나이며, 중심에 나타나 있는 것이 본 논문에서 제안한 PCS 안테나이다.

그림 9는 제안된 안테나의 측정된 *S*-파라미터 특성을 나타낸다. 그림 9의 측정 결과를 그림 6의 계산 결과와 비교해 보면 전반적으로 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있다.

그림 10은 제작된 안테나들의 측정된 방사 패턴 특성을 각각 나타낸다. 그림 10(a)에 보인 PCS 안테나의 측정값 경우, 그림 7의 계산된 결과와 그 형상이 일치하지만, 다소 X축으로 기울어진 방사 패턴 특성을 보이고 있다. 그림 10(a)에 나타난 바와 같이 후엽 특성이 뚜렷한 것은 안테나의 특성을 측정하기

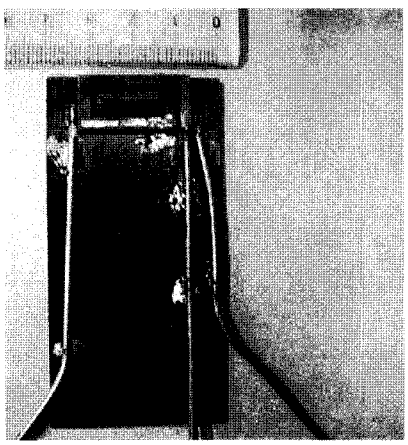


그림 8. 제작된 안테나 사진
Fig. 8. A photograph of the fabricated antenna.

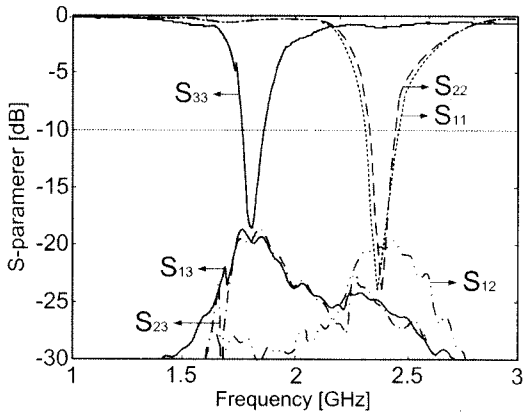
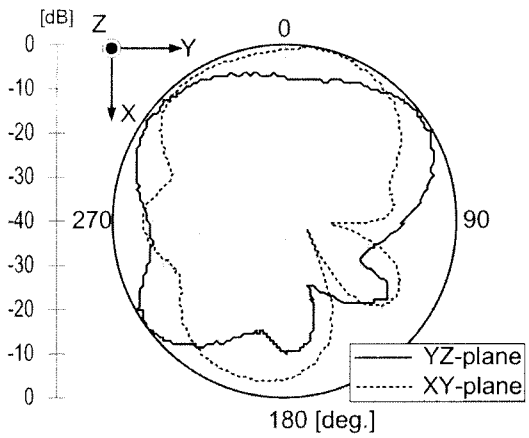


그림 9. 2-채널 WiBro 대역 MIMO 안테나와 PCS 대역 안테나의 *S*-파라미터 측정값

Fig. 9. Measured *S*-parameters of the 2-channel Wi-Bro band MIMO/PCS band antenna.

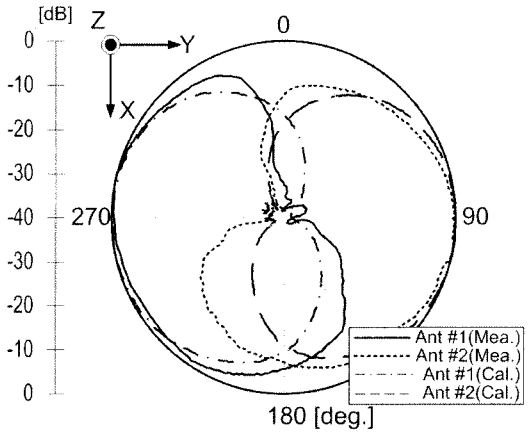
위해 연결한 급전 케이블과 커넥터의 영향으로 사료된다. 그림 10(b)는 WiBro 대역 MIMO 안테나의 방사 패턴 측정값을 나타낸다. 기존의 2-채널 WiBro 대역 MIMO 안테나의 방사 패턴은 참고문헌 [5]에서 잘 나타내고 있으며, 그에 비해 약간 X축으로의 기울어짐이 생기는 이유는 PCS 안테나의 방사 패턴과 같이 급전 케이블과 커넥터의 영향으로 판단된다. 또한, 단락 스트립에 의해 안테나의 전류가 그라운드로 많이 분포하여 방사 패턴의 방향이 그라운드로 향하게 되는 결과를 보인 것으로 사료된다. 2-채널 WiBro 대역 MIMO 안테나 사이에 1-채널 PCS 안테나가 존재하고 있음에도 불구하고 PCS 안테나의 방사 특성이 2-채널 WiBro 대역 MIMO 안테나에 거의 영향을 끼치지 않고 독립적으로 잘 동작하고 있음을 보여주는 아주 매력적인 결과를 얻었다.

그림 11은 제안된 2-채널 WiBro 대역 MIMO와 PCS 안테나의 이득을 계산하고 측정한 값의 비교를 나타낸다. 점선으로 나타낸 것은 계산된 이득이며, 실선으로 나타낸 것은 측정된 이득이다. 제안된 PCS 안테나는 1.8 GHz에서 0.05 dBi, WiBro 대역 MIMO 안테나는 2.3 GHz에서 2.63 dBi의 특성을 보였다. 대역폭은 일반적인 평면형 IFA와 비슷한 대역폭 특성을 가지며, 안테나 간의 격리도 특성은 참고문헌 [6]의 −15 dB보다 5 dB 이상 향상된 −20 dB의 개선된 결과를 보였다.



(a) 1.8 GHz에서 측정된 PCS 안테나의 방사 패턴

(a) Measured radiation patterns of PCS antenna at 1.8 GHz



(b) 2.3 GHz에서 측정한 WiBro 대역 MIMO 안테나의 방사 패턴

(b) Measured radiation patterns of WiBro band MIMO antenna at 2.3 GHz.

그림 10. 2-채널 WiBro 대역 MIMO 안테나의 측정된 방사 패턴

Fig. 10. Measured radiation patterns of 2-channel Wi-Bro band MIMO.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 2-채널 WiBro 대역 MIMO 안테나와 개인 휴대 통신용 PCS 안테나와의 격리도 특성 향상에 대하여 서술하였다. 각 안테나 사이의 격리도 특성을 향상시키기 위해 PCS 안테나는 2-채널 WiBro 대역 MIMO 안테나의 凸형 그라운드 구조에서 3 mm의 높이로 설계하였다. 안테나의 구조는 단

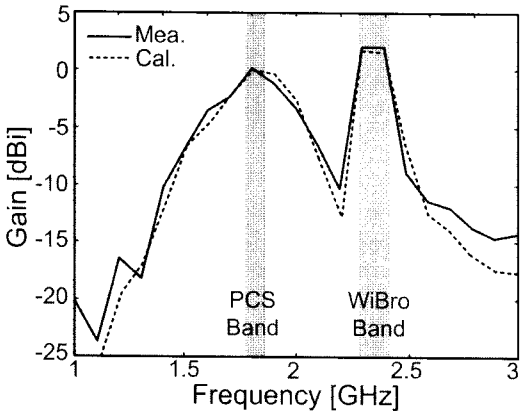


그림 11. 2-채널 WiBro 대역 MIMO와 PCS 안테나의 이득

Fig. 11. Gain of the 2-channel WiBro band MIMO and PCS antenna.

락 스트립 선로를 가지는 스파이럴 형태로 변형된 역 F형 안테나를 제안하였다. 凸형 그라운드 면의 적용으로 3차원적인 구조와 변형된 PIFA 형태의 제안된 안테나는 −20 dB로 매우 높은 격리도 특성을 보였다. 제안한 안테나는 PCS 주파수 대역에서 잘 동작하는 특성을 보였으며, 특히 2-채널 WiBro 대역 MIMO 안테나의 기존 성능에 거의 영향을 끼치지 않음을 반사 손실 특성과 방사 패턴 결과로부터 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] R. G. Vaughan, J. B. Andersen, "Antenna diversity in mobile communications", *IEEE Transaction Vehicle Technology*, vol. VT-36, pp. 149-172, Nov. 1987.

[2] Samuel C. K. Ko, Ross D. Murch, "A diversity antenna for external mounting on wireless handsets", *IEEE Transaction Antennas Propagation*, vol. 49, no. 5, pp. 840-843, May 2001.

[3] S. C. Ko, R. D. Murch, "Compact integrated diversity antenna for wireless communications", *IEEE Transaction Antennas Propagation*, vol. 47, pp. 954-960, Jun. 2001.

[4] M. Karaboikis, C. Soras, G. Tsachtsiris, and V. Makios, "Compact dual printed inverted-F antenna diversity systems for portable wireless devices", *IEEE Antennas and Wireless Propagation*, vol. 3, pp. 9-14, 2004.

[5] Dong-Jin Kim, Kyeong-Sik Min, "Compact 2-channel MIMO antenna for WiBro handy terminal application", *APMC 2006*, vol. 3, pp. 214-217, 2006.

[6] Kyeong-Sik Min, Dong-Jin Kim, and Min-Seong Kim, "Multi-channel MIMO antenna design for WiBro/PCS band", *IEEE AP-S*, Honolulu, Hawaii, USA, pp. 1225-1228, 2007.

[7] Hong-Twu Chen, Kin-Lu Wong, and Tzung-Wern Chiou, "PIFA with a meandered and folded patch for the dual-band mobile phone application", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 51, no. 9, pp. 2468-2471, Sep. 2003.

[8] M. -C. Huynh, W. Stutzman, "Ground plane effects on planar inverted-F antenna(PIFA) performance", *Microwaves, Antennas and Propagation, IEE Proceedings*, vol. 150, pp. 209-213, Aug. 2003.

[9] Yu-Shin Wang, Ming-Chou Lee, and Shyh-Jong Chung, "Two PIFA-Related miniaturized dual-band antennas", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 55, no. 3, pp. 805-811, Mar. 2007.

김 민 성

2007년 2월: 한국해양대학교 전파공학과 (공학사)
2007년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 석사과정
[주 관심분야] MIMO 안테나, RFID 소형 안테나 설계

민 경 식

1989년 2월: 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학사)
1991년 2월: 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학석사)
1996년 2월: 일본동경공업대학교 전기전자공학과 (공학박사)
1997년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 부교수
[주 관심분야] FDTD 해석법, RFID, MIMO 안테나, 위성통신 및 이동통신용 안테나, 초고주파 회로용 프로그램 등