

WiBro/WiMAX 대역 IBBD 배열 안테나의 설계

Design of IBBD Array Antennas for WiBro/WiMAX Band

최환기 · 최학근 · 정영배* · 전순익*

Hwan-Gi Choi · Hak-Keun Choi · Young-Bae Jung* · Soon-Ik Jeon*

요 약

본 논문에서는 WiBro/WiMAX 대역(2.3~3.5 GHz)에서 동작하는 광대역 16(4×4) 소자 배열 구형 반사판 안테나를 설계하고, 복사 특성을 고찰하였다. 설계된 안테나는 IBBD(Integrated Balun Bow-tie Dipole) 소자로 구성되며, 급전 회로에서 발생하는 불요 전자파를 줄이기 위하여 반사판 뒷면에 급전 회로를 두었다. 설계된 안테나의 광대역 특성을 확인하기 위하여 실제 안테나를 제작하고 복사 특성을 측정하여 계산된 결과와 비교하였다. 측정 결과는 계산 결과와 비슷하게 나타났으며, 2.06~3.89 GHz 대역에서 VSWR 1.6 이하를 만족하였고, 안테나 이득은 사용 주파수 대역에서 10.3 dBi 이상으로 나타났다. 따라서 본 논문에서 설계된 안테나는 WiBro/WiMAX 공용 배열 안테나로 사용할 수 있을 것으로 생각된다.

Abstract

In this paper, a broadband rectangular reflector antenna with 16-array elements for WiBro/WiMAX band(2.3~3.5 GHz) is designed, and its radiation characteristics are investigated. The designed antenna is composed of the IBBD(Integrated Balun Bow-tie Dipole) elements and has the feed circuit at the rear of the reflector to reduce the unwanted electromagnetic wave from it. To confirm the broadband characteristics of the designed antenna, test antenna is fabricated and its radiation characteristics are measured, compared with calculated results. The measured results show good agreement with the calculated results. As a result of measurements, 1.8 GHz of bandwidth(VSWR<1.6) is achieved at 2.06~3.89 GHz and the antenna gain over 10.3 dBi. We confirm that the designed antenna can be used as a broadband antenna for WiBro/WiMAX.

Key words : IBBD, Array Antenna, WiBro, WiMAX

I. 서 론

세계 이동 통신 시장이 음성 위주에서 인터넷(데이터 통신) 및 이동 방송 위주로 전환되는 가운데 세계 각국은 신기술과 시장 선점을 위하여 치열한 경쟁을 하고 있다^[1]. 이에 따라 국내에서도 한국전자통신연구원을 중심으로 휴대 통신 서비스에 인터넷 접속이 가능하도록 하는 WiBro(Wireless Broadband)와

무선 LAN으로 활용되어지고 있는 Wi-Fi(Wireless Fidelity)의 장점을 접목시킨 휴대용 초고속 통신망인 WiMAX(Worldwide interoperability for Microwave Access)에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 이러한 신기술을 적용한 시스템의 연구 개발 시험을 위해서는 WiBro/WiMAX 대역을 만족하는 광대역 기지국 안테나의 개발이 우선적으로 이루어져야 한다. 따라서 본 논문에서는 WiBro/WiMAX 공용 주파

「본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 IT 신성장동력핵심기술개발 사업의 일환으로 수행하였음[2007-F-041-01, 지능형 안테나 기술 개발].」

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

*한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute)

· 논문 번호 : 20071105-123

· 수정완료일자 : 2008년 1월 2일

수인 2.3~3.5 GHz(중심 주파수 기준 41.38 %) 대역에서 사용할 수 있는 구형 반사판을 갖는 광대역 단일 복사 소자를 설계하고, 단일 소자의 복사 패턴을 배열 이론에 적용하여 16 소자 배열 안테나를 설계한다. 안테나는 일반적인 구형 반사판 안테나처럼 평면형 반사판의 위에 복사 소자를 설치된 구조이다^{[2],[3]}. 안테나의 광대역 특성을 고찰하기 위하여 안테나 구조 파라미터를 변화시키면서 CST사의 MWS(V. 2006b)를 사용하여 복사 특성을 계산하고, 검토하여 단일 소자의 구조를 도출하고 제작하여 복사 패턴을 측정한다. 이상에서 측정된 단일 소자의 복사 패턴을 배열 이론^[4]에 적용하여 16(4×4) 소자 배열 안테나를 설계한다. 마지막으로 설계된 안테나의 복사 특성을 분석하기 위하여 실제 안테나를 제작하여 VSWR과 복사 패턴을 측정하여 계산 결과와 비교 한다.

본 논문에서 설계된 안테나는 기존의 안테나와 달리 급전 회로를 안테나 반사판의 뒷면에 두어 급전 회로에서 발생하는 불요 전자파를 최소화시켜 효율성을 높인다. 또한, 네 개의 복사 소자를 한 기판에 두어, 보다 손쉽게 안테나를 제작할 수 있도록 하고, 안테나가 광대역 특성을 갖도록 integrated balun 급전 방식^[5]과 bow-tie^[6] 구조를 채용한다.

II. IBBD 배열 안테나의 설계

2-1 단일 IBBD 안테나 설계

일반적으로 기지국 안테나는 비교적 높은 이득을 가지며, 낮은 사이드로브와 높은 전후 방비 특성이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 30 dB 이상의 전후 방비와 -30 dB 이하의 사이드로브 레벨을 갖는 배열 안테나를 설계한다.

그림 1은 설계된 16소자 IBBD(Integrated Balun Bow-tie Dipole) 배열 안테나의 구조를 보여준다. 안테나는 각 4개의 IBBD 소자가 배열된 패널 4개가 급전 회로 기판에 만들어진 슬롯을 통하여 기판의 아랫면에 존재하는 급전 회로에 연결된다.

그림 2는 그림 1의 배열 안테나의 배열 소자로서 설계된 IBBD 안테나이다. 그림에서 (a)는 반사판 위에 세워질 다이폴 소자의 구조이고, (b)는 급전선,

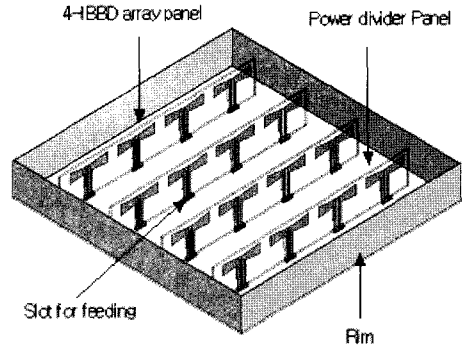
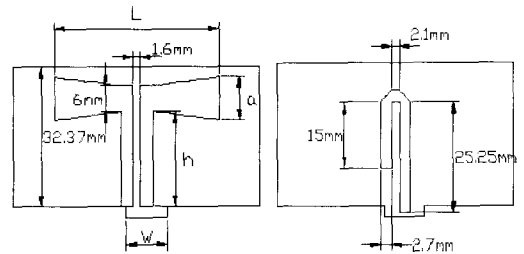
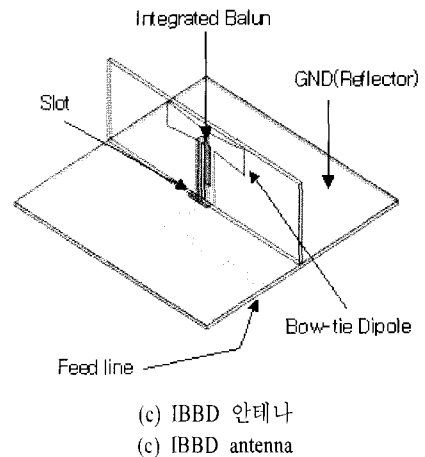


그림 1. 16 소자 IBBD 배열 안테나
Fig. 1. 16-IBBD array antenna.

는 반사판을 포함한 IBBD 안테나이다. 안테나의 기본 구조 파라미터는 다이폴 소자의 길이 L , 폭 a , 높이 h 이다. 다이폴 소자는 그림 2(c)에 보이는 것처럼 반사판 뒷면에서 슬롯을 통하여 다이폴 지지대를 따



(a) 다이폴 소자 (a) Dipole element
(b) 급전선 (b) Feed line



(c) IBBD 안테나
(c) IBBD antenna

그림 2. 단일 IBBD 안테나의 구조
Fig. 2. Structure of single IBBD antenna.

라 올라온 급전선을 통해 급전된다. 여기서 사용된 기판은 FR-4 기판($\epsilon_r=4.4$, $h=1.6$ mm, 손실탄젠트 =0.02)이다.

일반적으로 IBBD 형태의 복사체는 선형 편파 특성이 우수하고 VSWR<2를 기준으로 40 % 이상의 넓은 대역폭을 갖는 것으로 알려져 있다^[5]. 여기서는 IBBD 안테나의 구조에 따른 복사 특성을 도출하여 광대역 특성을 갖는 안테나 구조를 설계하기 위하여 소자의 길이 L , 폭 a , 높이 h 의 기본 구조 파라미터를 변화시키면서 VSWR을 계산한다. 급전선은 그림 2 (b)로 하고, 다이폴의 시작단의 폭은 6 mm, 다이폴 지지대의 간격은 1.6 mm로 한다. 또한, 반사판이 있는 안테나의 경우, 반사판의 면적이 커질수록 안테나의 이득은 증가하는 특성을 갖는다^[7]. 그러나 실질적으로 복사 소자는 유한한 반사판을 사용할 수 있고, 안테나 크기와 성능 간의 적절한 타협이 필요하므로 반사판의 크기를 100×100 mm²로 한다.

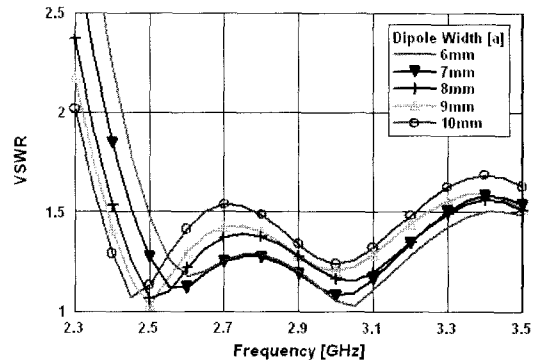
그림 3은 그림 2의 안테나 구조에서 h 가 22 mm 일 때, 다이폴의 길이 L 과 다이폴의 끝단의 폭 a 를 변화시키면서 계산한 VSWR을 나타낸다. 그림에서 다이폴의 길이 L 과 폭 a 가 길어질수록 VSWR 2 이하의 주파수 대역이 넓어짐을 확인할 수 있다. 그림 3에서 다이폴의 길이와 폭이 각각 19.5 mm(0.38λ)와 9 mm일 때 양호한 VSWR 특성을 보여주고 있다.

그림 4는 안테나의 길이 $L=19.5$ mm, 끝단의 폭 $a=9$ mm로 하였을 때 높이 h 의 변화에 따른 VSWR을 계산하여 나타낸 것이다. 그림에서 h 가 22 mm일 때 VSWR 특성이 양호하게 나타나고 있다.

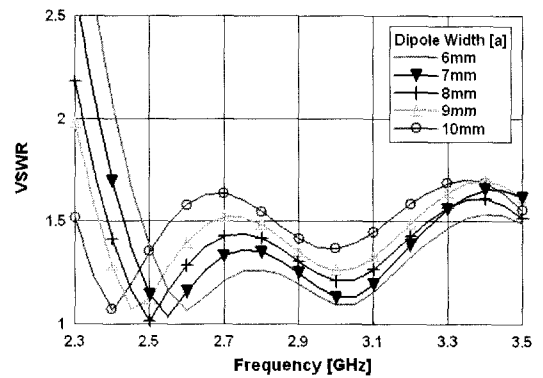
그림 3과 4로부터 WiBro/WiMAX 공용 배열 안테나의 기본 다이폴 소자는 $L=19.5$ mm, $a=9$ mm, $h=22$ mm로 한다. 그림 4에서 VSWR<1.7인 주파수 대역은 2.29~3.69 GHz(48.3 %)로 나타나고 있다. 이는 WiBro/WiMAX 대역(2.3~3.5 GHz)을 만족하는 범위이다.

그림 5는 제작된 단일 소자의 측정된 VSWR을 나타낸 것이다. VSWR은 계산된 값과 거의 유사한 특성을 나타내었으며, 전 대역에서 1.56:1 이하의 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

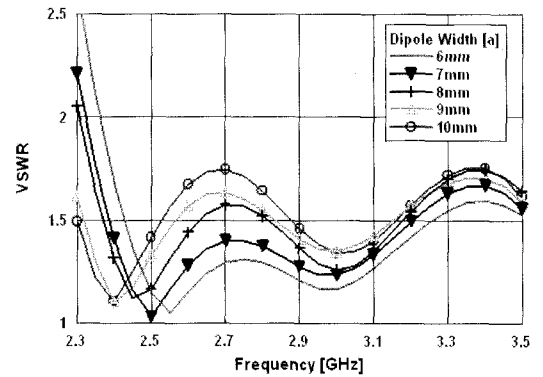
그림 6은 설계된 IBBD 안테나의 복사 패턴을 중심 주파수인 2,900 MHz에서 측정치와 계산치를 비교하여 나타낸 것이다. 안테나 이득은 약 6.3 dBi(계



(a) $L=18.5$ mm



(b) $L=19$ mm



(c) $L=19.5$ mm

그림 3. 다이폴의 폭 a 와 길이 L 의 변화에 따른 VSWR

Fig. 3. VSWR as functions of dipole width a and length L .

산치: 6.4 dBi)이고, E면 및 H면 빔 폭은 65.72°(계산치: 62.27°), 80.53°(계산치: 87.32°)이다. 측정 결과로부터 설계 제작된 IBBD 안테나는 배열 안테나의 기본 소자로 충분히 사용되리라 생각된다.

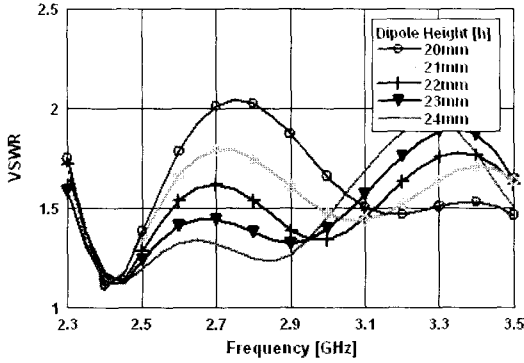


그림 4. 안테나 높이 h 의 변화에 따른 VSWR
Fig. 4. VSWR as a function of antenna height h .

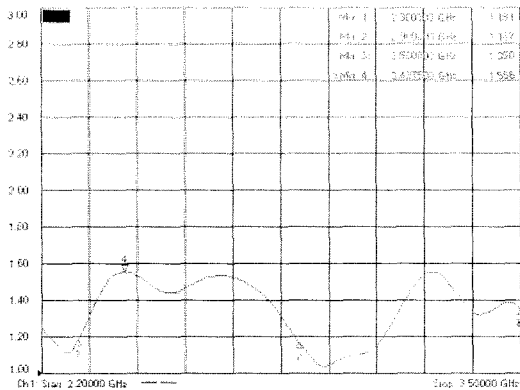
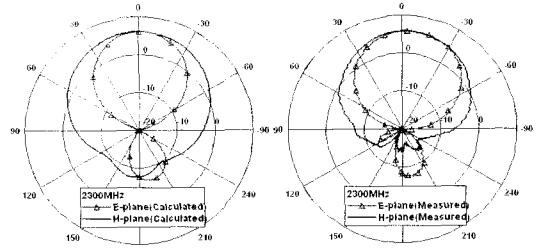


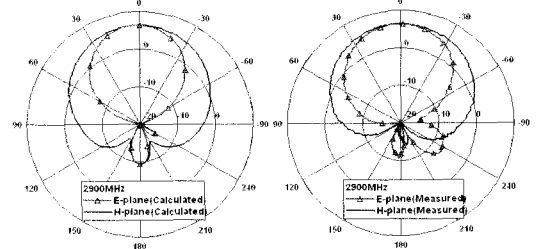
그림 5. 단일 소자의 VSWR
Fig. 5. VSWR of single element.

2-2 배열 안테나 설계

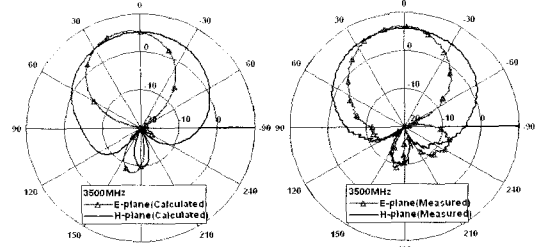
여기서는 앞에서 설계된 IBBF 안테나를 기본 소자로 하는 16(4×4) 소자 IBBF 배열 안테나를 설계한다. 배열 안테나의 사이드로브 레벨은 급전 전력비와 소자 간의 간격에 따라 변화한다^[8]. 여기서는 그림 6을 단일 소자의 복사 패턴으로 고정하고 배열 소자의 간격, 급전 전력비의 변화에 따라 합성 전계를 계산한 후, 그것을 분석하여 그림 6의 모든 주파수에서 사이드로브 레벨 -30 dB 이하를 만족하는 급전 전력비와 소자 사이의 간격을 결정하였다. 그 결과, 사이드로브 레벨 -30 dB 이하를 만족하면서 전력 분배비의 제작이 용이한 4×4 배열 안테나의 각 소자 전력비는 E면 방향으로 1:5:5:1, H면 방향으로 1:5:5:1이며, 배열 간격은 E면 방향으로 51mm(중심



(a) 2,300 MHz



(b) 2,900 MHz



(c) 3,500 MHz

그림 6. 단일 소자의 복사 패턴
Fig. 6. Radiation pattern of single element.

주파수 기준 0.493λ , H면 방향으로 54 mm(중심 주파수 기준 0.522λ)로 나타났다.

2-3 급전 회로 설계

그림 7은 수직, 수평 방향으로 1:5:5:1의 전력비를 갖도록 설계된 급전 회로로 T형 급전 회로^[9]를 사용하였다. 급전 회로의 각 출력 단자에서 위상 오차는 6° 이하로 하였으며, 반사 손실은 20 dB(VSWR < 1.22) 이하가 되도록 하였다. 급전 회로의 크기는 $262 \times 262 \times 1.6$ mm이다. 계산된 급전 회로의 손실 특성은 손실 탄젠트 0.02, 기판 두께 1.6 mm인 FR-4 기판을 사용한 결과, 약 4.41 dB의 삽입 손실(IL: Insertion Loss)을 가지며 사용 주파수 대역 내 출력 전력비의 편차는 최대 1.7 dB이며 동일 주파수 상 최대

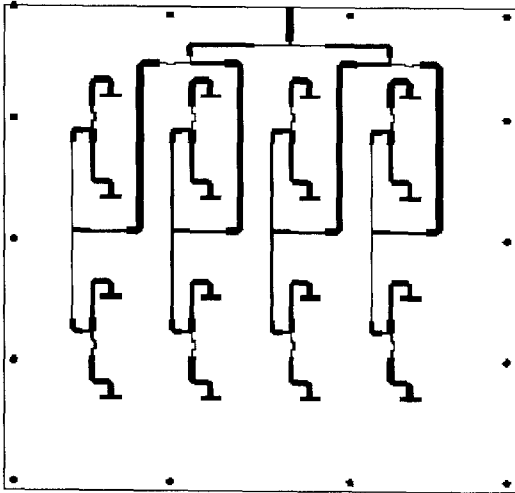


그림 7. 설계된 급전 회로
Fig. 7. Designed feed network.

편차는 0.5 dB이다.

III. 제작 및 측정 결과

여기서는 앞에서 설계된 배열 안테나의 소자와 급전 회로를 사용하여 WiBro/WiMAX 대역 IBBD 배열 안테나를 제작하고 그 성능을 측정한다.

그림 8은 제작된 안테나의 외관을 보여준다. 제작된 안테나의 소자 수는 16 소자이며, 각각 4개의 소자가 하나의 기판에 제작된다. 총 4개의 소자로 구성된 4개의 안테나 패널이 반사판에 수직으로 세워지고 반사판 뒷면의 급전 회로로부터 급전된다. 배

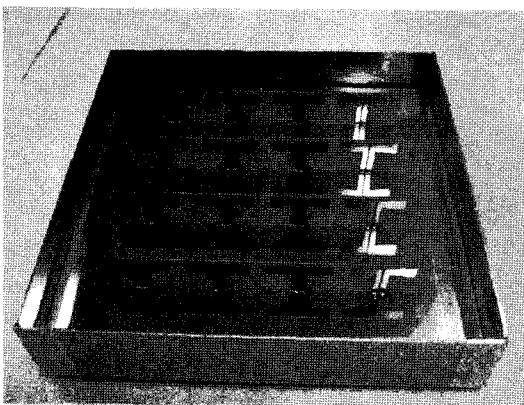


그림 8. 제작된 IBBD 배열 안테나
Fig. 8. Fabricated IBBD array antenna.

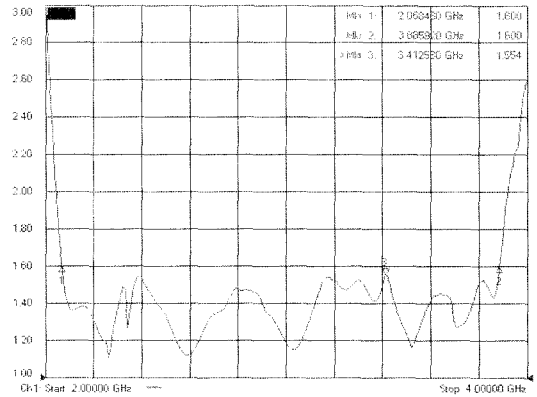


그림 9. 16 소자 IBBD 배열 안테나의 VSWR
Fig. 9. VSWR of 16-IBBD array antenna.

열 안테나의 전체 크기는 262×262×40 mm이다.

그림 9는 설계 제작된 안테나의 측정된 VSWR을 나타낸다. VSWR은 WiBro/WiMAX 대역을 포함하는 2.06~3.89 GHz에서 1.6 이하를 나타내고 있다.

그림 10은 제작된 16 소자 IBBD 배열 안테나의 복사 패턴을 계산치와 측정치를 비교하여 나타낸 것이다. 그림 10에서 계산된 복사 패턴은 전력비를 E면 방향으로 1:5:5:1, H면 방향으로 1:5:5:1, 배열 간격을 E면 방향으로 51 mm, H면 방향으로 54 mm로 하여 계산한 배열계수^[8]와 그림의 6의 단일 소자의 복사 패턴을 곱하여 구하였다. 여기서 복사 패턴 계산시 그림 8의 안테나 테두리는 포함되지 않았다.

안테나 이득은 전 대역에서 10.3 dBi(계산치: 10.53 dBi) 이상이며, 이는 급전 회로에서의 손실과 각 소자에 공급된 전력이 서로 다르며, 또한 배열 간격이 0.5 λ가 아닌 점을 감안하였을 때 적당한 이득을 가진 것이라 생각된다. E면과 H면 빔 폭은 중심 주파수에서 각각 30.9°(계산치: 28°), 27.8°(계산치: 29°)로 계산치와 약 3° 이하의 오차를 가진다. 이는 제작상의 오차와 측정 환경에 의한 영향이라 생각된다. 전후 방비(±90°)의 경우, 24.11 dB 이상으로 계산치보다 많이 향상된 결과를 얻었으며, 이는 배열 패턴 계산시 사용된 단일 복사 소자의 반사판이 실제 제작된 복사 소자의 반사판보다 작기 때문이라 생각된다. 사이드로브의 경우, 이론치와 측정치가 차이를 보이고 있다. 이는 급전 회로의 주파수에 따른 위상 오차 때문으로 생각된다.

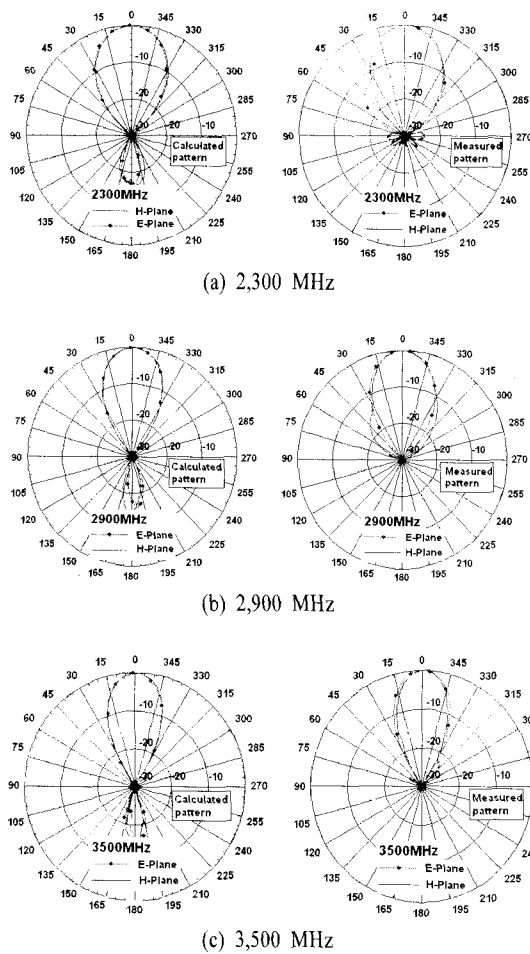


그림 10. 복사 패턴
Fig. 10. Radiation pattern.

IV. 결 론

본 논문에서는 WiBro/WiMAX 대역 16 소자 IBBD 배열 안테나를 설계 제작하고 복사 특성을 측정하여 사용 가능성을 고찰하였다. 설계 제작된 안테나는 integrated balun 급전 방식과 bow-tie 구조의 다이폴 안테나를 사용하여 광대역 특성을 구현하였으며, 급전 회로의 접지면을 반사판으로 사용하여 안테나와 급전 회로 사이를 효율적으로 격리하였으며, 4개의 소자를 하나의 패널에 위치하여 제작이 용이하도록

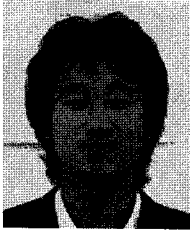
하였다. 설계된 안테나는 WiBro/WiMAX 대역을 포함하는 2.06~3.89 GHz 범위 내에서 VSWR<1.6을 얻었으며, 이는 중심 주파수 기준 63.1 %의 대역폭에 해당된다. 이득은 사용 주파수 전 대역에서 10.3 dBi 이상을 갖는 것으로 측정되었고, 복사 패턴은 측정치와 계산치가 비교적 유사하게 나타났다.

이상으로 본 논문에서 설계된 배열 안테나는 WiBro/WiMAX 대역에서 동작할 수 있는 광대역 기지국 안테나의 설계에 충분히 활용 가능할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

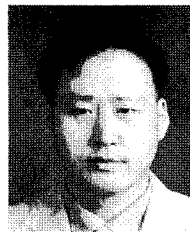
- [1] 염용섭, 김형찬, 함창용, 김희수, 이내찬, "무선통신 및 데이터 통신 활성화에 따른 정책 방안 연구", 한국정보통신연구진흥원, 2001년 12월.
- [2] A. Kumar, H. D. Hristov, *Microwave Cavity Antennas*, Artech House, ch. 1-2, 1989.
- [3] M. H. Hong, D. P. Nyquist, "Radiation fields of open-cavity radiator and a backfire antenna", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. AP-18, pp. 813-815, Nov. 1970.
- [4] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, John Wiley, New York, ch. 3, 7, 1981.
- [5] B. Edward, D. Rees, "A broadband printed dipole with integrated balun", *Microwave Journal*, pp. 339-344, May 1987.
- [6] A. A. Eldek, A. Z. Elsherbeni, "Modified printed bow-tie antenna for C and X bands wideband phased array systems", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 2B, pp. 429-432, Jul. 2005.
- [7] A. Kumar, H. D. Hristov, *Microwave Cavity Antennas*, Artech House, 1989.
- [8] T. A. Milligan, *Modern Antenna Design*, McGraw-Hill, New York, 1985.
- [9] R. Garg, P. Bhartia, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Artech House, ch. 12, 2001.

최 환 기



2007년 8월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
2007년 9월~현재: 단국대학교 전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파

정 영 배



1999년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학사)
2001년 2월: 한국정보통신대학교 전자공학부 (공학석사)
2001년 2월~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원
[주 관심분야] RF/MW 수동 및 능동부품설계, 위상배열 안테나시스템 설계

최 학 근



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

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

전 순 익



1984년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)
1996년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
2003년 8월: 충남대학교 전자공학과 (공학박사)
1990년 9월~현재: 한국전자통신연구원 안테나기술연구팀 팀장, 책임연구원

[주 관심분야] 초고주파 수동 및 능동 부품 및 시스템, 안테나 시스템, CR시스템 등