

논문 2010-47TC-3-7

알카메디안 스파이럴 슬롯을 이용한 소형화된 광대역 안테나

(Compact Broad-band Antenna Using Archimediean Spiral Slot)

김 준 형*, 조 태 준*, 이 흥 민**

(Junehyong Kim, Taejune Cho, and Hongmin Lee)

요 약

본 논문에서는 알카메디안 스파이럴 슬롯을 이용한 소형화된 광대역 안테나가 제안되었다. 제안된 안테나는 광대역 특성을 갖는 CPW 금전 구조, 스파이럴 구조와 슬롯 구조를 이용하여 소형화된 안테나의 크기와 매우 넓은 대역폭을 갖는다. 알카메디안 슬롯의 폭과 간격, CPW 금전 구조에서의 금전선로와 접지면 사이의 폭은 좋은 임피던스 정합의 특성과 넓은 대역폭을 갖도록 하기 위해 최적화 하였다. 제안된 안테나의 크기는 8mm×13mm이며 FR-4 (비유전율 : 4.4, 기판두께 : 0.8mm) 기판 위에 설계되어졌다. 모의 실험한 결과 제안된 안테나의 임피던스 대역폭 ($VSWR \leq 2$)은 5.98GHz (4.1GHz ~ 10.08 GHz)이고 1.57 dBi ~ 3.97 dBi의 균일한 이득을 갖으며 이득은 8.7 GHz에서 3.97 dBi를 갖는다. 측정 결과 제작된 안테나의 임피던스 대역폭 ($VSWR \leq 2$)은 6.02GHz (4.48 GHz ~ 10.5 GHz)이고 최대 이득은 9.4GHz에서 2.68 dBi를 갖는다. 제안된 광대역 안테나는 넓은 주파수 범위에서 임피던스 정합과 방사폐턴을 유지하는 특성을 나타내므로 넓은 대역이 요구되는 무선 통신 시스템에 응용될 수 있을 것으로 사료된다.

Abstract

In this paper, compact broad-band antenna using circular spiral slot and CPW (coplanar waveguide) feed is proposed. The proposed antenna is designed on the same plane of the substrate by using CPW fed structure, archimediean spiral slot structure. So it was achieved both the size of compact antenna and the broad - band. A archimediean spiral slot structure is introduced for resonance of medium band operation. The distances of a CPW feeder line and a ground plane are modified for impedance matching and lower/higher band operation. The proposed antenna has a compact size (8mm × 13mm) and it is etched on the FR-4 (relative dielectric constant = 4.4, thickness = 0.8mm) dielectric substrate. The simulated impedance bandwidth ($VSWR \leq 2$) and maximum gain of the proposed antenna are 5.98GHz (4.1GHz ~ 10.08GHz) and 3.97dBi, respectively. The measured impedance bandwidth ($VSWR \leq 2$) and maximum gain of the proposed antenna are 6.02GHz (4.48GHz ~ 10.5GHz) and 2.68dBi, respectively. The simulation and measured result shows good impedance matching and radiation pattern over the interesting frequency bands. It can be applied to antenna of broad-band wireless communication system.

Keywords : Broad-band antenna, Chip antenna, Coplanar waveguide, Archimedean spiral slot, Compact antenna

I. 서 론

최근 근거리 통신 또는 휴대용 단말기 응용 등을 위한 무선통신 분야에서 여러 대역들을 동시에 포함하면

서 저렴한 가격과 고성능, 높은 접적도 그리고 안테나의 소형화 등이 요구되고 있다. 특히 멀티미디어 및 다양한 서비스의 통합과 소형화 되는 단말기 등의 크기로 인하여 안테나 부분에 할당되는 공간은 줄어들고 요구되는 대역폭은 오히려 늘고 있는 실정이다. 따라서 점차 소형화 및 광대역화 되어 가는 추세에 있는 무선통신 시스템의 요구 조건에 부응하기 위하여 무엇보다도 안테나 소자의 소형화와 대역폭 확장에 대한 연구가 필요하다.^[1~4]

기존에 연구되어진 광대역 안테나 구조에는 프렉탈

* 학생회원, ** 정회원, 경기대학교 전자공학과
(Dept. of Electronic Engineering,
Kyonggi University)

※ 이 논문은 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로
한국 학술 진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임
(KRF-2008-521-D00303)

접수일자: 2009년10월28일, 수정완료일: 2010년3월18일

(fractal) 안테나, 나선형 (spiral) 안테나, 대수주기 (log-periodic) 안테나, 슬롯 (slot) 안테나 등이 있으며 이러한 구조들을 사용한 안테나는 25 % ~ 100 % 이상의 점유대역폭을 구현할 수 있다. 최근 광대역 특성을 나타내는 안테나 연구에서는 주로 CPW 급전 구조와 슬롯 방사 소자들이 안테나 설계에서 사용되어진다.^[5~8] 슬롯 방사 구조를 갖는 안테나는 광대역 특성을 얻기에 용이하며 CPW 급전 구조는 광대역 특성과 안정된 신호 여기가 가능하다.

본 논문에서는 단일한 알키메디안 (Archimedean) 원형 나선형 (spiral) 슬롯 구조와 CPW 구조 등을 이용하여 소형화되어진 광대역 안테나(8 mm×13 mm)를 제안한다. 제안된 안테나의 주된 에너지 방사는 단일한 알키메디안 나선형 (spiral) 슬롯 방사구조를 통하여 이루어지며, 설계에 사용된 CPW 급전 구조의 접지면의 크기가 매우 작으므로 낮은 주파수 대역에서 일부의 에너지 방사가 역 L자 형태의 개방 슬롯 구조를 통하여 이루어진다. 따라서 제안된 안테나의 방사 패턴은 단일한 알키메디안 나선형 (spiral) 슬롯의 방사 특성에 의하여 다이폴 안테나의 방사 패턴과 유사한 형태를 나타내었다. 제안되어진 안테나 설계에는 FR - 4 유전체 기판 (비유전율 : 4.4, 기판두께 : 0.8 mm)이 사용 되었으며, CST사의 MWS (Micro Wave Studio)를 이용하여 안테나 구조의 설계 및 최적화가 이루어 졌다.

II. 제안된 안테나의 설계

제안된 광대역 안테나의 구조를 그림 1에 나타내었다. 제안된 구조는 역 L자 형태의 개방 슬롯을 갖는 소형 CPW 급전 선로와 단일한 알키메디안 나선형 슬롯 방사 구조를 갖는 형태이다. CPW 급전선로는 50옴을 갖는 마이크로스트립 선로를 사용하여 설계하였으며, 제안된 안테나가 넓은 주파수 특성을 갖도록 하기 위하여 CPW 급전선로 주위의 접지면적의 크기와 역 L자 형태의 개방 슬롯의 폭을 최적화 시키었다. 제안된 안테나의 크기는 8 mm × 13 mm이며 FR-4 (비유전율 : 4.4, 기판높이 : 0.8 mm) 기판 위에 설계되어졌으며 CPW 급전 구조 설계에는 실제로 사용되어질 SMA (Sub Miniature version A) 커넥터의 물리적인 크기를 고려한 모의실험이 수행되어 졌다.

알키메디안 나선형 구조는 극 각 (polar angle)에 선형으로 비례하여 원의 반경이 점진적으로 증가하는 형

태를 갖으며 동작 영역은 휘어진 구조의 원주에서 한 파장 길이 부분 또는 가장자리에서 반 파장 길이 성분을 갖는 안테나 부분이 주가 되어진다.

최종 설계되어진 광대역 특성을 갖는 단일 알키메디안 나선형 슬롯의 전체 길이는 약 28 mm ($1.07\lambda_0$, 공진주파수 : 5.5 GHz)이며, 슬롯의 폭은 0.38 mm이고, 슬롯 간의 간격은 0.91 mm이다. 알키메디안 나선형 슬롯의 폭과 간격은 제안된 안테나가 $VSWR \leq 2$ 기준으로 넓은 대역에서 동시에 동작되어지도록 설계에 있어서 알키메디안 나선형 슬롯의 길이, 슬롯 폭, CPW 급전 선로의 접지면적의 크기 및 역 L자형태의 개방 슬롯의 간격 등을 최적화하였다.

알키메디안 나선형 슬롯의 폭과 간격은 제안된 안테

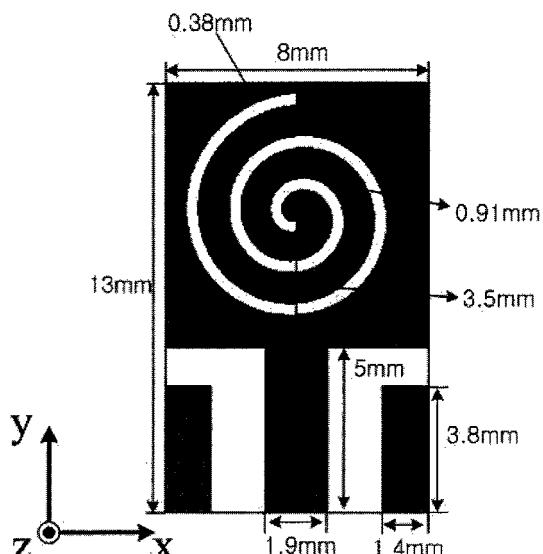


그림 1. 제안된 광대역 안테나의 구조

Fig. 1. Geometry of proposed broad - band antenna.

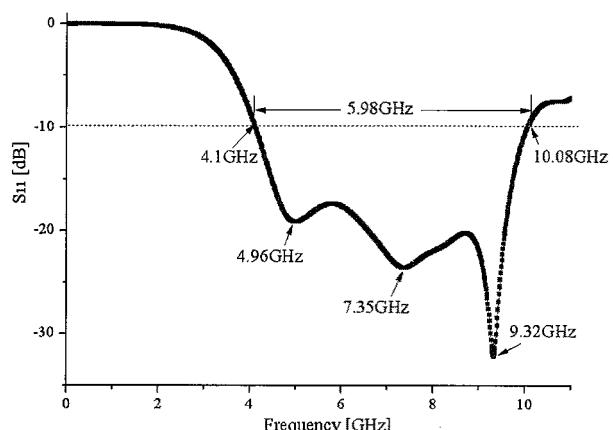


그림 2. 안테나의 S_{11} (모의실험)

Fig. 2. Simulated S_{11} of proposed antenna.

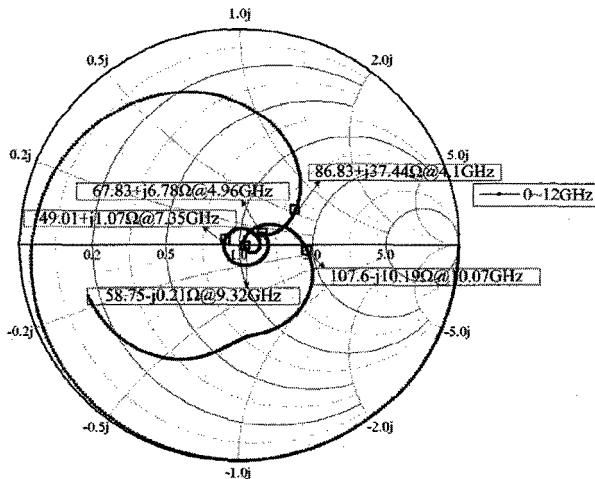


그림 3. 제안된 안테나의 입력 임피던스 궤적
Fig. 3. Input impedance loci of the proposed antenna.

나가 $VSWR \leq 2$ 기준으로 넓은 대역에서 동시에 동작되어지도록 설계에 있어서 알카메디안 나선형 슬롯의 길이, 슬롯 폭, CPW 급전 선로의 접지면적의 크기 및 역 L자형태의 개방 슬롯의 간격 등을 최적화 하였다.

그림 2에 모의실험 되어진 안테나의 S_{11} 특성을 나타내었다. 제안된 안테나의 임피던스 대역폭 ($VSWR \leq 2$)은 약 5.97 GHz (4.1 GHz ~ 10.08 GHz)이며 매우 넓은 대역을 만족시키고 있음을 확인하였다. 그림 3에 모의실험 되어진 제안된 안테나의 입력 임피던스 궤적들을 나타내었다. 스미스 도표에서 볼 수 있듯이 임피던스 대역폭 ($VSWR \leq 2$) 내 4.1 GHz ~ 10.07 GHz 사이의 모든 주파수 대역에서 제안된 안테나에 대한 임피던스 정합이 잘 이루어지고 있음을 확인 할 수 있다.

그림 4에 제안된 광대역 안테나의 각 공진 주파수 (4.96 GHz, 7.35 GHz, 9.32 GHz)에서 안테나 도체 상의 표면 전류 분포를 나타내었다. 4.96 GHz에서는 위상이 45° 와 225° 에서 역 L자형태의 개방 슬롯과 나선형 슬롯 주위에서 전류의 세기가 강함을 확인할 수 있었고, 7.35 GHz에서 9.32 GHz로 주파수가 더 높아질수록 역 L자 형태의 개방 슬롯 주위의 전류의 세기는 약해지고 나선형 슬롯 주위에서의 전류의 세기가 강해지고 있어서 안테나의 주된 방사는 알카메디안 나선형 슬롯을 통하여 이루어짐을 확인하였다.

안테나의 동작영역에 해당되는 알카메디안 나선형 슬롯의 원주의 한 파장 길이 부분을 통하여 흐르는 전류들에 의한 주된 방사가 이루어지며, 동작영역 이외의 영역에서는 전류값이 작아진다.

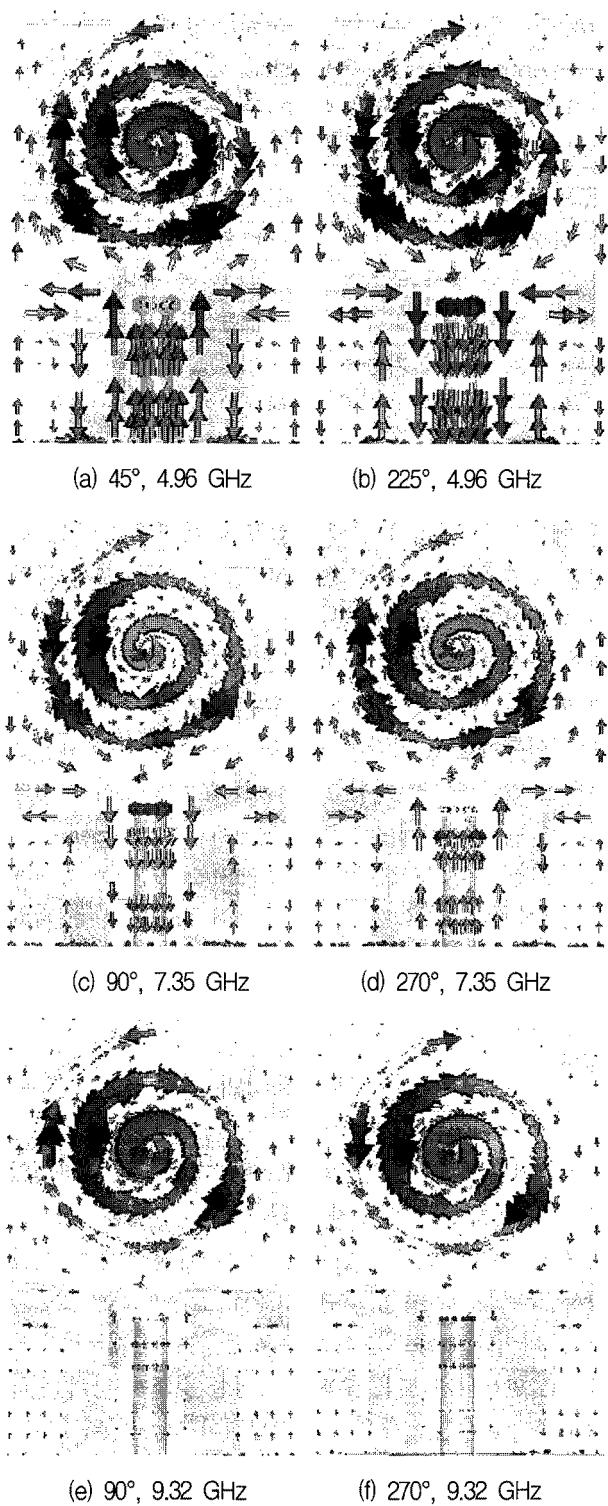


그림 4. 주파수 변화에 따른 표면 전류 분포
Fig. 4. Surface current distribution for different frequencies.

임피던스 대역폭 ($VSWR \leq 2$) 내에서 안테나 도체 상의 표면 전류 분포는 주파수가 낮아지면서 동작영역은 나선의 중심에서 멀리 떨어진 지점으로 이동하지만,

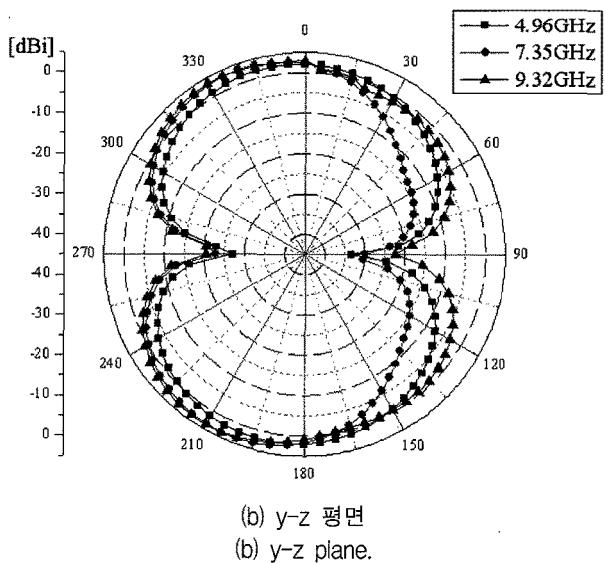
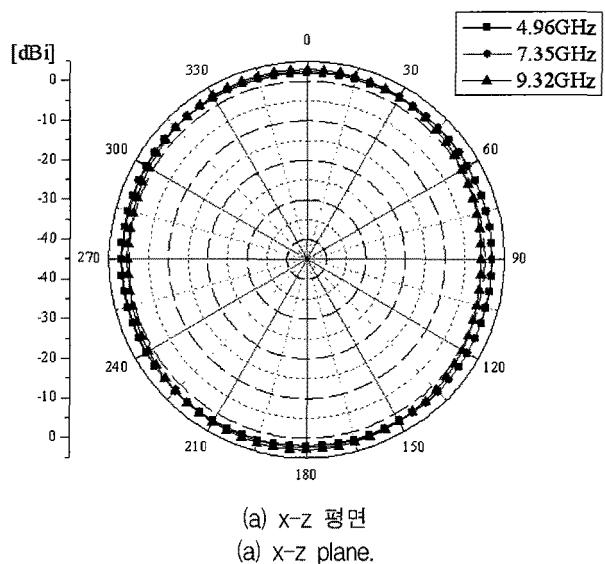


그림 5. 제안된 광대역 안테나의 방사패턴 (모의실험)
Fig. 5. Simulated radiation pattern of the proposed broad-band antenna.

안테나의 입력 임피던스 값은 크게 변하지 않으므로 안테나의 정합이 잘 이루어지고 있다.

또한 동일 평면상에 존재하는 알카메디안 나선형 슬롯에서 원형 편파 형태가 아닌 슬롯에서의 방사를 하며 위상의 변화에 따라서 전류의 방향이 바뀌어지며 안테나 방사에 영향을 주는 슬롯 구간이 달라짐을 확인하였다.

그림 5에 각기 다른 세 개의 공진 주파수에서의 모의 실험되어진 제안된 광대역 안테나의 방사패턴을 나타내었다. 제안된 안테나는 x-z 평면에서 전방향성 방사패턴 특성을 나타내며 y-z 평면에서는 8자형 방사 패턴을 나타내고 있으므로 수평 디아풀 안테나와 유사한 방사

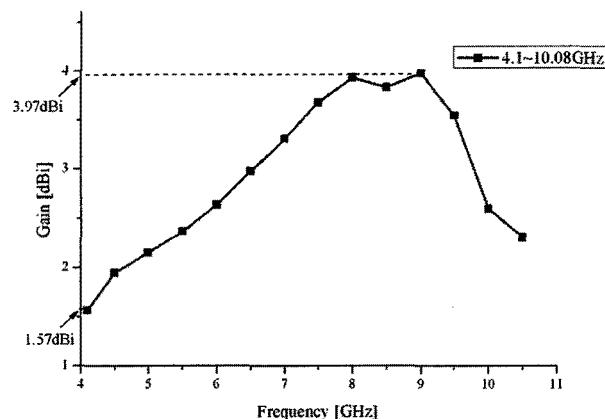


그림 6. 주파수 대 안테나 이득의 변화
Fig. 6. Gain for various frequency.

패턴을 나타내었다.

그림 6에 제안된 안테나의 임피던스 대역폭 ($VSWR \leq 2$)내의 모의실험 되어 진 이득 분포를 나타내었다. 제안된 안테나는 주파수 4.1 GHz에서 1.57 dBi의 최저 이득을 갖으며 8.7 GHz에서 3.97 dBi의 최대 이득을 나타내었다.

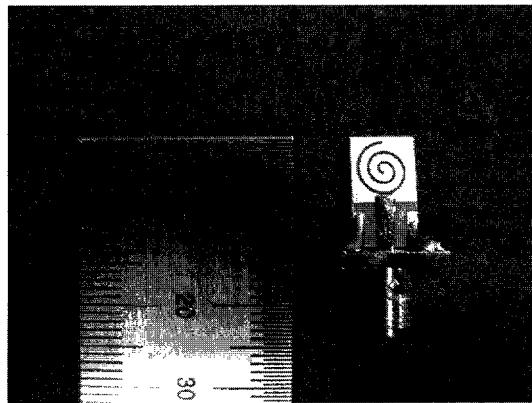
III. 제안된 안테나의 제작

제작된 광대역 안테나의 사진들을 그림 7에 나타내었다. 제작된 안테나의 전체 크기는 8 mm × 13 mm이며 그림 7(a)에서 보이는 것과 같이 FR-4 기판 윗부분에 인쇄형 회로 기술을 사용해 쉽게 제작할 수 있는 단면의 알카메디안 나선형 슬롯과 CPW 급전구조가 구현되어졌고 그림 7(b)에 나타난 바와 같이 기판 아래 부분에는 접지면이 존재하지 않는 구조로 제작되었다.

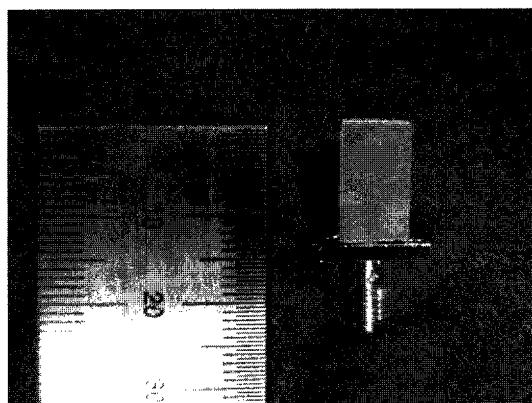
그림 8에 측정되어진 S_{11} 을 나타내었다. 측정 결과 안테나의 임피던스 대역폭 ($VSWR \leq 2$)은 모의실험 결과와 비교했을 때 조금 상향되었지만 약 6.02 GHz(4.48 GHz ~ 10.5 GHz)의 대역폭을 갖으며 거의 비슷한 대역 특성을 나타내었다.

그림 9에 제작된 광대역 안테나의 입력 임피던스의 위치를 나타내었다. 스미스 차트에서 볼 수 있듯이 제안된 안테나의 임피던스 대역폭 ($VSWR \leq 2$)내 4.48 GHz ~ 10.5 GHz 사이의 모든 주파수들의 임피던스 정합이 비교적 잘 이루어 졌음을 확인할 수 있다.

그림 10에 주파수 5.38 GHz와 9.38 GHz에서 측정되어진 제작된 안테나의 방사패턴을 나타내었다. 모의실험에서 나타난 바와 같이, 제작된 안테나는 x-z 평면에



(a) 앞 면
(a) Front view



(b) 뒷 면
(b) Back view

그림 7. 제작된 광대역 안테나 사진

Fig. 7. Photographs of fabricated broad-band antenna.

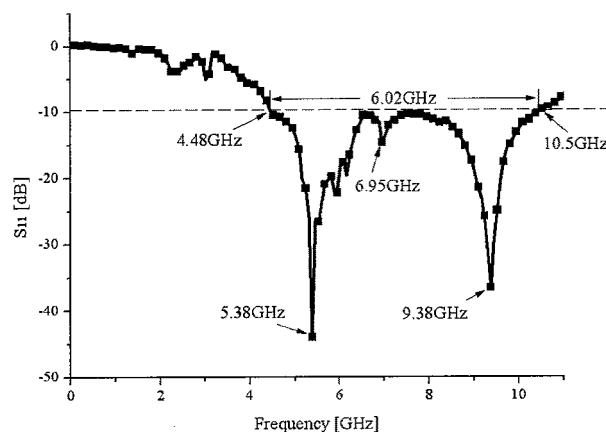


그림 8. 제작된 광대역 안테나의 S11 (측정결과)

Fig. 8. Measured S11 of the fabricated antenna.

서는 전방향성 방사패턴을 나타내며 y-z 평면에서는 8자형의 방사 패턴을 나타내었다. 또한 제작된 광대역 안테나의 이득을 측정 한 결과 주파수 9.38 GHz에서 2.68 dBi의 최대 이득을 갖음을 확인하였다.

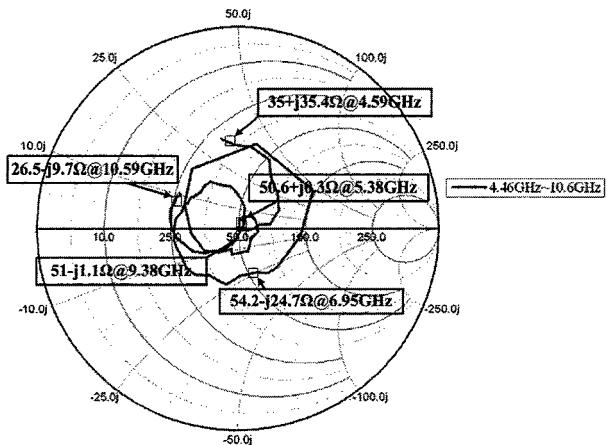
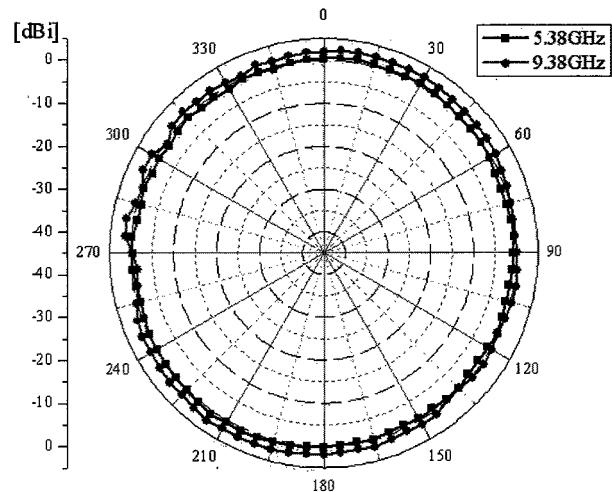
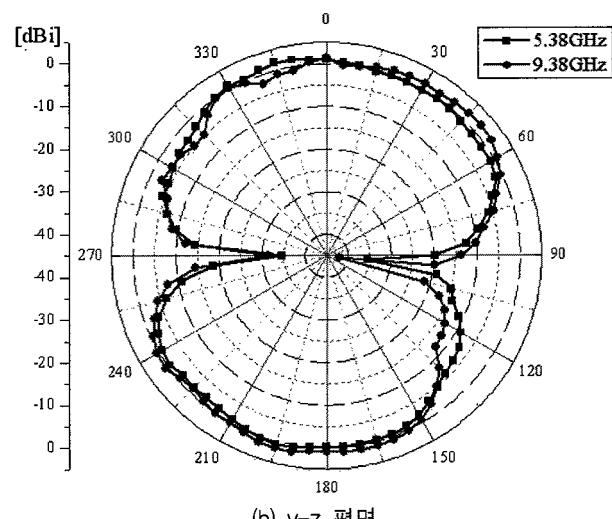


그림 9. 측정되어진 안테나의 입력 임피던스 궤적
Fig. 9. Measured input impedance loci of the antenna.



(a) x-z 평면
(a) x-z plane



(b) y-z 평면
(b) y-z plane.

그림 10. 제작된 광대역 안테나의 방사패턴 (측정값)

Fig. 10. Measured radiation pattern of the fabricated broad-band antenna.

표 1. 제안된 안테나의 특성 비교

Table 1. The characteristic comparison of proposed antenna.

Broad-band antenna (8mm × 13mm)		
	모의실험 결과	측정 결과
임피던스 대역폭	5.98 GHz (4.1 GHz ~ 10.08 GHz)	6.02 GHz (4.48 GHz ~ 10.5 GHz)
최대 이득	3.97 dBi	2.68 dBi
방사 패턴	전방향성(x-z 평면) 8자형(y-z 평면)	전방향성(x-z 평면) 8자형(y-z 평면)

표 1에 제안된 안테나의 임피던스 대역폭, 최대 이득과 방사패턴 등의 모의실험값과 측정값을 비교하였다. 소형화된 크기를 갖는 제작된 안테나의 측정 결과는 모의실험 결과와 비교하면 거의 비슷한 특성을 나타냄을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

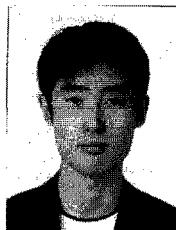
본 논문에서는 단일한 알키메디안 나선형 슬롯을 이용한 소형화된 광대역 안테나 구조를 제안하였다. 역 L자 형태의 개방 슬롯을 갖는 소형 CPW (coplanar waveguide) 금전 선로와 단일한 알키메디안 (Archimedean) 나선형 슬롯에서 주방사 특성을 갖는 구조를 설계하였으며 소형 광대역 안테나의 제작에서는 FR -4 기판 (비유전율 : 4.4, 기판높이 : 0.8mm)을 이용한 인쇄기판 방식이 사용되었다.

제작된 안테나의 특성을 측정한 결과, 임피던스 대역폭 ($VSWR \leq 2$) 내에서 매우 넓은 주파수 대역을 만족시키고 있었으며 주파수 9.38 GHz에서 2.68 dBi의 최대 이득을 나타내었다. 또한 제안된 광대역 안테나는 다이폴안테나와 유사한 방사패턴을 유지하는 특성을 나타내고 있으므로 매우 넓은 주파수 대역이 요구되는 광대역 무선통신 시스템 등에 응용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Caias, P, Staraj. R, Kossiavas. G, Luxey. C, "Compact internal multiband antenna for mobile phone and WLAN standards", Electron Lett., vol. 40, pp. 920-921, July. 2004.
- [2] Nader Behdad, and Kamal Sarabandi, "A compact antenna for ultrawide-band applications", IEEE Trans. Antennas and Propag., vol. 53, no. 7, pp. 2185-2192, July. 2005.
- [3] K. Chung, S. Hong and J. Choi, "Ultrawide-band printed monopole antenna with band-notch filter", IET Microw. Antennas Propag., vol.2, pp. 518-522, Jan. 2007.
- [4] K. Lu Wong, Yi. F. Lin, "A Novel Compact Broadband Microstrip Antenna", in Proc. of Asia-pacific microwave conf., pp. 1-4, Dec. 2007.
- [5] Y. X. Guo, K. M. Luk, K. F. Lee, Chair, R, "A quarter-wave U-shaped patch antenna with two unequal arms for wideband and dual-frequency operation", IEEE Trans. Antennas and Propag., pp. 1082-1087, Aug. 2002.
- [6] Z. N. Chen, T. S. P. See, and X. M. Qing, "Small printed ultra-wideband antenna with reduced ground plane effect", IEEE Trans. Antennas and Propag., vol. 55, no. 2, pp. 383–388, Feb. 2007.
- [7] Cohen. N, Hohlfeld. R, Moschella. D, Salkind. P, "Fractal wideband antennas for software defined radio, UWB, and multiple platform applications", in Proc. of IEEE Radio and Wireless Conf., pp. 99–102, Aug. 2003.
- [8] O. Isik, and K. P. Esselle, "Design of monofilar and bifilar archimedean spiral resonators for metamaterial applications", IET Microw. Antennas Propag., vol.3, pp. 929-935, Sep. 2009.

저자소개



김 준 형(학생회원)
 2009년 경기대학교 전자공학과
 졸업 (공학사).
 2009년 경기대학교 전자공학과
 석사과정.
 <주관심분야 : 안테나 설계 및 해
 석, RF 수동소자, Metamaterial,
 Wearable antenna>



조 태 준(학생회원)
 2009년 경기대학교 전자공학과
 졸업 (공학사).
 2009년 경기대학교 전자공학과
 석사과정.
 <주관심분야 : 안테나 설계 및 해
 석, RF 수동소자, Metamaterial,
 Wearable antenna>



이 흥 민(정회원)
 1972년 연세대학교 전기공학과
 (공학사)
 1974년 연세대학교 전자공학과
 (공학석사)
 1990년 연세대학교 전자공학과
 (공학박사)
 1991년 ~ 현재 경기대학교 전자공학과 교수
 <주관심분야 : 안테나 설계 및 해석, 전파 전파,
 RF 수동소자, Metamaterial, Wearable antenna>