

논문 2008-45TC-12-20

모노폴 방사패턴을 가지는 마이크로스트립 표면과 안테나의 대역폭개선에 관한 연구

(A Study on the Bandwidth Enhancement of a Microstrip Surface
Wave Antenna With a Monopole Like Pattern)

장재삼*, 정영호*, 이호상*, 조동기*, 박승배**, 김철복*, 이문수***

(Jaesam Jang, Youngho Jung, Hosang Lee, Dongki Jo, Seongbae Park,
Cheolbok Kim, and Mun Soo Lee)

요약

본 연구에서는 여파성 표면(FSS : Frequency Selective Surface)을 가지는 마이크로스트립 표면과안테나(SWA : Surface Wave Antenna)를 설계·제작하여 그 특성을 실험적으로 고찰한다. 표면과 안테나는 마이크로스트립을 이용하여 박막, 경량, 간단한 제조와 고주파 집적회로에 적합하며 모노폴 안테나와 유사한 방사패턴을 가진다. 여파성 표면을 가지는 마이크로스트립 표면과 안테나는 표면과의 여기를 위한 중앙급전 방식의 마이크로스트립 패치와 표면과의 방사를 위한 주기적인 구조의 패치를 적층하여 구성한다. 광대역 특성을 얻기 위하여 링 모양의 기생 패치를 추가하였고, FSS 단위소자로 원형의 패치를 선택하였다. 실험결과, 공진 주파수는 5.9GHz이고, 대역폭은 12%이며, 5.6dBi의 이득을 나타내었다.

Abstract

In this paper, a microstrip surface wave antenna(SWA) with a frequency selective surface structure(FSS) is designed and measured. A microstrip SWA has many advantages such as low profile, low weight, easy fabrication, and compatibility with monolithic microwave integrated circuits(MMIC). In addition, it has demonstrated monopole like beam patterns. The microstrip SWA consists of two parts : a center-fed modified microstrip patch to excite surface wave, and a periodic patches to support the propagation of the surface waves. To obtain wide bandwidth, the ring type parasitic element is inserted and the circular patch is selected for the unit element in FSS structure. Experimental results show that the microstrip SWA has monopole like beam patterns at 5.9GHz. Impedance bandwidth and gain is 12% and 5.6dBi

Keywords : Surface wave antenna(SWA), Frequency selective surface(FSS), Antenna

I. 서론

1950년대에 소개된 표면과 안테나(SWA : Surface Wave Antenna)는 구조의 어려움으로 인하여 자동차와 같은 이동체에 설치하기가 어려워 이동통신에 사용하기 불편하였다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 EBG구조

를 적용하여, 평면형 표면과 안테나에 대한 연구가 진행되고 있다^[1~2]. 또한, 이동통신이나 무선통신에서 많이 사용하는 모노폴 안테나의 수평면 방사패턴은 무지향성이다. 그러나 모노폴 안테나는 평면형 안테나에 비하여 높이가 높은 단점을 가진다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 모노폴 안테나와 비슷한 방사패턴을 가지는 평면형 안테나에 대한 연구가 진행되고 있다^[3~4].

평면상의 주기적인 구조는 주파수 필터링 특성으로 인하여 많은 주목을 받았다. 유전체 평면상의 패치나 슬롯으로 구성된 주기적인 배열은 여파성 표면(FSS : Frequency Selective Surface)으로 알려졌다. FSS는 유전체 기판상의 배열 소자가 패치 또는 슬롯에 따라 저

* 정회원, ** 학생회원, 경상대학교 전자공학과
(Dept. of Electronic Engineering, Gyeongsang National University)

*** 평생회원, 경상대학교 공학연구원
(Engineering Research Institute, Gyeongsang National University)

접수일자: 2008년8월11일, 수정완료일: 2008년12월11일

역통과 또는 고역 통과를 가진다^[5].

본 연구에서는 FSS구조를 가지는 마이크로스트립 SWA를 설계·제작한다. SWA는 표면파의 여기를 위해 중앙급진 방식의 마이크로스트립 패치를 중간층에 두고, 표면파의 방사를 위해 FSS를 최상층에 적층하여 구성한다. 대역폭 개선을 위해 마이크로스트립 패치에 링 모양의 기생패치를 추가하였다. 마이크로스트립 패치와 기생패치 사이의 간격은 최대한의 대역폭을 얻도록 설계하였다. 표면파는 주기적으로 배열된 패치를 따라 전파하다가 접지면의 가장자리에서 회절이 된다. 이로 인하여 안테나의 전체적인 방사패턴은 모노폴 안테나의 방사패턴과 유사하게 된다. 그리고 주기적인 구조의 패치는 일반적으로 정방형 구조가 많이 사용되나, 보다 넓은 대역폭과 양호한 반사손실을 얻기 위하여, 원형의 패치를 선택하였다.

중심 주파수는 5GHz대역이고, 유전율은 2.5, 두께 3.05mm($0.05\lambda_0$)인 기판상에 설계된 사각 패치의 길이와 폭은 각각 28.5mm와 30.5mm로 하였다. 기생패치와 사각패치와의 간격은 2.5mm로 하였고, 패치 내부의 슬롯의 폭은 6mm로 하였다. 패치의 중심점에서 내부 슬롯까지의 거리는 각각 9mm와 10mm이다. 주기적인 구조의 원형패치의 크기는 반지름이 4.1mm($0.14\lambda_0$)이고, 간격은 0.6mm($0.01\lambda_0$)이고, 8×8의 배열을 적용하였다. 안테나 전체 크기는 120mm이다. SWA의 설계에는 FIM법을 이용한 CST를 이용하여 최적 설계하였고, Vector Network Analyzer로 안테나의 특성을 실험적으로 고찰한다.

II. SWA(Surface Wave Antenna)

1. 유전체 판위의 Surface Wave^[6]

평면파가 유전체 경계면에 입사 될 때 표면파가 발생한다. 일반적으로 표면파는 유전체 경계면을 포함한 다양한 기하학적 구조에서 존재할 수 있다. 표면 도파관으로 사용하는 다른 구조로는 접지되지 않은 유전체 평판, 유전체 봉, 유전체로 코팅된 도체봉 등이 있다. 표면파는 유전체나 또는 유전체 부근에서 전계 및 자계의 대부분이 존재하고, 유전체 표면으로부터 멀어지면서 전계 크기는 지수함수로 감쇠한다. 일반적으로 주파수가 높아질수록 대부분의 전계 및 자계는 유전체내에 존재하게 되므로, 유전체 평판 도파관은 고주파에서 실용적이다. 유전체로 인하여 표면파의 위상 속도는 진공에서의 빛의 속도보다 느리다.

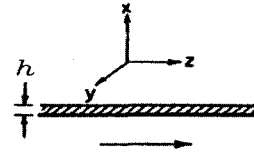


그림 1. 유전체 판 위의 표면파 전파에 대한 구조
Fig. 1. Geometry for surface wave propagation over dielectric sheets.

그림 1은 x 방향으로 두께가 h 인 유전체 기판위에 놓인 무한평면도체($y-z$ 면)를 나타낸 것이다. 이와 같은 구조에서 전자파가 전파할 때 파수 k 는

$$k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 = k^2 \quad (1)$$

의 관계가 있다. 여기서, k 는 위상정수 β 와 감쇠정수 α 를 가지는 복소수 형태의 파수이며, $k = \beta - j\alpha$ 이다. 파가 진행하는 매질에서 파수 k 는 각주파수 ω , 유전체 상수 ϵ 와 투자율 μ 의 함수로 $k = \omega\sqrt{\epsilon\mu}$ 이다. 자유공간에서 k 는 실수이다. 유사하게, 표면을 따라 이동하는 파의 위상정수 β_z 는 표면파파장 λ_z 와 $\beta_z = 2\pi/\lambda_z$ 의 관계가 있고, 표면파위상속도 v_z 와는 $\beta_z = \omega/v_z$ 의 관계가 있으므로

$$\beta_z/k = \lambda/\lambda_z = c/v_z \quad (2)$$

이다. 식 (2)의 값이 1보다 크면($v_z < c$) 저속파(slow wave)라 하고, 1보다 작으면($v_z > c$) 고속파(fast wave)라 한다. 즉, 저속파는 λ_z 가 자유공간의 파장 λ 보다 짧고, 고속파는 λ_z 가 λ 보다 길다.

표면파는 경계면을 따라 진행하고, 경계면의 수직방향으로 급격히 감소한다. 즉, x 방향의 위상정수 β_x 는 "0"이고, 감쇠정수는 양의 값을 가져야 하므로 x 방향의 파수는 $k_x = -j\alpha_x$ 가 된다. 그리고, y 방향의 파수 $k_y = 0$ 이다. 식 (1)에서 z 방향의 파수 k_z 는 실수여야 한다. 즉, z 방향의 파수 $k_z = \beta_z$ 이다. 그리고, 다음과 같은 식을 얻는다.

$$\beta_z^2 = k^2 + \alpha_x^2 \quad (3)$$

또는, 식 (2)를 사용하면

$$\lambda/\lambda_z = c/v_z = \sqrt{1 + (\alpha_x\lambda/2\pi)^2} \quad (4)$$

이다. 위의 식으로부터 우변의 값은 1보다 크므로 저속파임을 알 수 있다.

2. FSS의 구조에서의 전자파산란

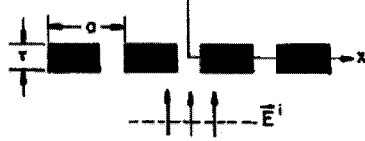


그림 2. 평면파가 수직으로 입사된 도체판 스크린
Fig. 2. A metal screen illuminated by a normally incident plane wave.

그림 2는 xy 면에서 주기가 a 인 FSS구조의 수직단면($x-z$ 면)을 나타낸 것으로 검은 부분은 도체로 되어 있다. 여기에 $z < 0$ 영역에서 입사되는 전자파의 전계를^[7]

$$\vec{E}^i(\vec{r}) = \hat{u}e^{-jkz}, \quad \text{for } z < 0 \quad (5)$$

라 하면, FSS 구조로부터 산란되는 전자파의 전계는^[7]

$$\vec{E}(\vec{r}) = \begin{cases} \hat{u}Te^{-jkz} + \hat{u}\sum_p\sum_q T_{pq}Q_{pq}(x,y)e^{-j\gamma_{pq}z} & \text{for } z > 0 \\ \hat{u}Re^{+jkz} + \hat{u}\sum_p\sum_q R_{pq}Q_{pq}(x,y)e^{+j\gamma_{pq}z} & \text{for } z < 0 \end{cases} \quad (6)$$

이다. 식 (6)에서 $p = q = 0$ 을 제외한 모든 $\{p, q\}$ 로 표현되는 값들은 그레이팅 로브(grating lobes)라 하며, xy 면에서 그레이팅 로브의 크기는

$$Q_{pq}(x,y) = \exp\left[-j\frac{2\pi}{a}(px + qy)\right]$$

이고 그의 전파상수는

$$\gamma_{pq} = \left[k^2 - \left(\frac{2\pi}{a}\right)^2(p^2 + q^2)\right]^{1/2}$$

이다^[7]. 식 (6)에서 T 는 투과계수, R 은 반사계수를 뜻한다. 주기 a 가 파장보다 작으면($a/\lambda < 1$), $\{\gamma_{pq}\}$ 는 모두 음의 허수이므로 그레이팅 로브의 전자계는 스크린에서 멀어질수록 지수함수적으로 감소한다. 따라서, FSS구조의 주기 a 가 파장보다 작을 때 식 (6)의 첫 번째 항으로 주어지는 메인빔(main beam)의 투과계수 T 와 반사계수 R 만을 고려한다. S. W. Lee et al.의 연구결과에서 T 와 R 의 여파특성이 확인되었다^[7].

III. SWA의 구조

이동통신 분야에서는 두께가 얇고, 설치가 용이하면

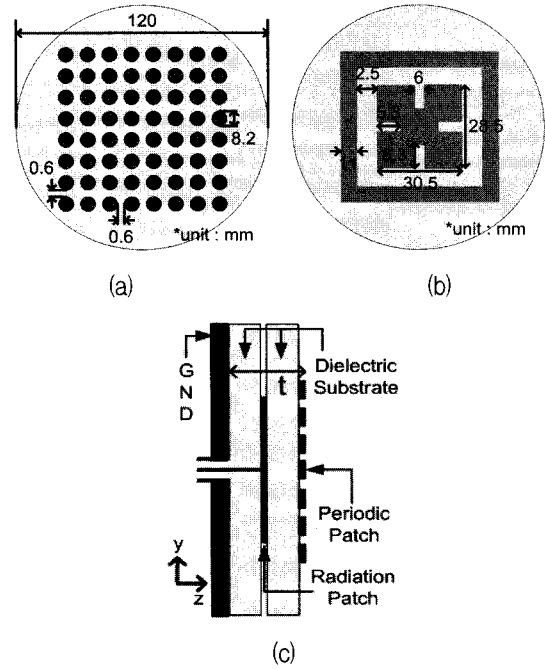


그림 3. SWA의 구조 : (a) 상층, (b) 중간층, (c) 측면
Fig. 3. Geometry of a SWA :
(a) Top layer, (b) Middle layer, (c) Side View.

서, 모노폴 형태의 방사 패턴을 가지는 안테나를 요구하고 있다. 이와 같은 요구를 만족하기 위해 마이크로 스트립 안테나가 주로 사용되고 있다. 마이크로 스트립 안테나는 박막이며, 부착이 용이하며, MMIC회로와 집적화가 용이하다는 장점을 가지고 있다. 또한, 마이크로 스트립 표면과 안테나를 사용함으로써 모노폴 안테나의 방사 패턴을 구현할 수 있고, 안테나의 높이를 줄일 수 있다.

그림 3은 본 논문에서 제안된 안테나의 구조와 크기를 나타낸 것이다. 안테나는 맨 아래층의 접지면과 중간층의 방사패치와 맨 위층의 여파성 표면으로 구성된다. 표면파의 여기를 위하여 방사패치의 중앙에 급전을 하고, 대역폭 확장을 위하여 기생패치와 슬롯을 사용한다.

IV. 설계 및 실험

1. 설계

안테나 설계에는 유전율 2.5, 두께 20mil의 타코닉사의 TLF9를 사용하였다. 설계된 안테나는 상용 EM Simulator인 CST Microwave studio를 사용하여 최적화 하였다. SWA의 구조와 크기는 그림 3과 같다.

본 연구에서는 반사손실 특성을 좋게 하기 위하여, 상층의 주기적인 패치로 원형패치를 선택하였다. 광대역 특성을 얻기 위하여 사각패치에 슬롯을 주고, 외곽

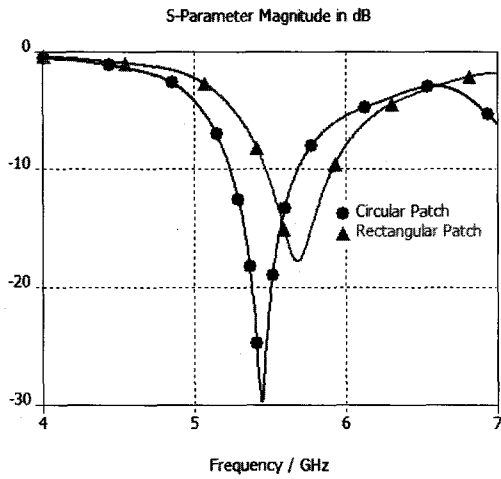


그림 4. FSS 소자 패치에 따른 SWA의 계산된 반사손실
Fig. 4. Simulated return loss of the SWA for the different FSS patches.

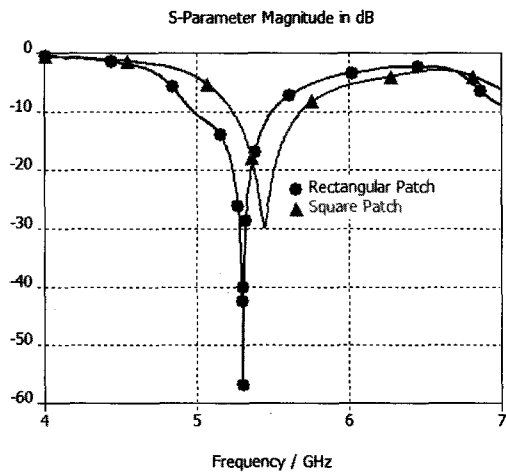


그림 5. 방사패치에 대한 SWA의 계산된 반사손실
Fig. 5. Simulated return loss of the SWA for the different radiation patch.

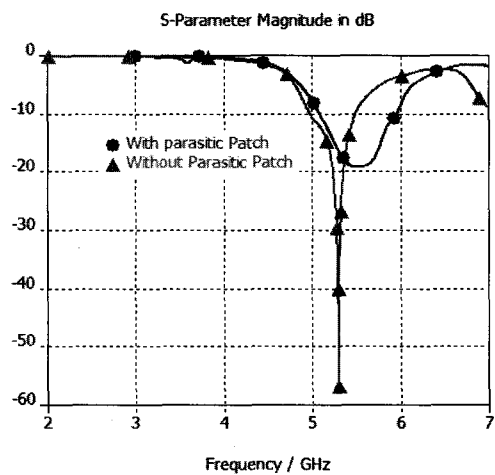
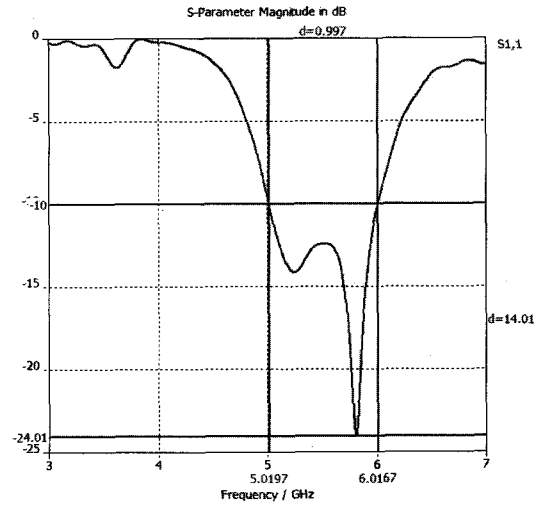


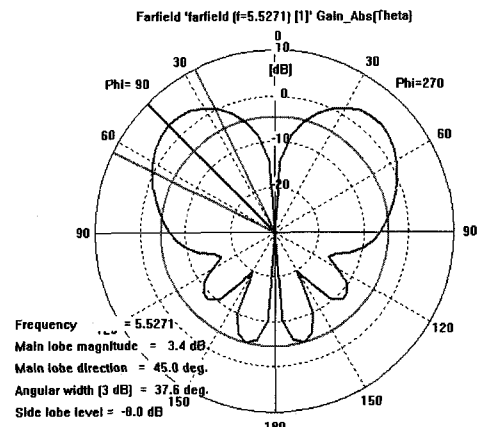
그림 6. 기생소자에 따른 SWA의 계산된 반사손실
Fig. 6. Simulated return loss of the SWA for the parasitic element.

에 링모양의 기생소자를 두었다.

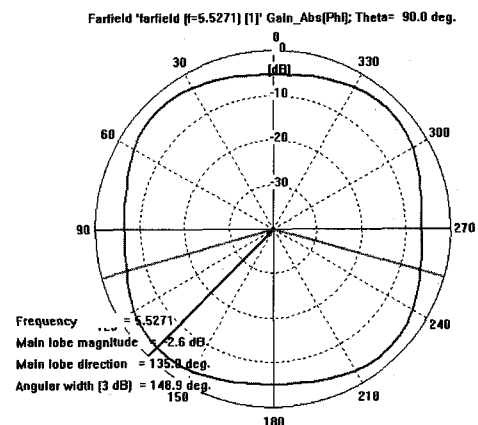
그림 4는 주기적인 구조가 사각형일 때와 원형일 때의 반사손실의 계산치이다. 그림에서처럼 사각형일 경



(a)



(b)



(c)

그림 7. SWA의 계산된 (a)반사손실, (b)E면 과 (c)H면 방사패턴

Fig. 7. Simulated (a)return loss, (b)E-Plane and (c)H-Plane radiation pattern of the SWA

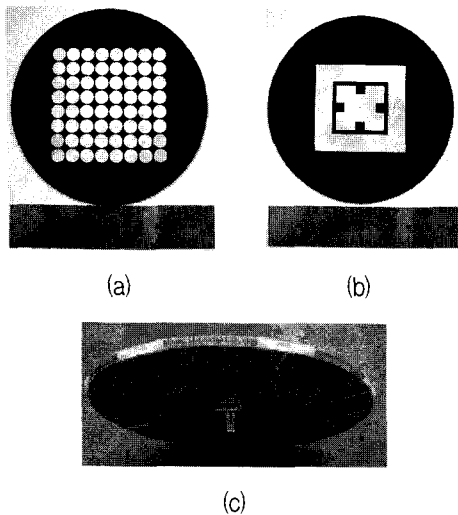


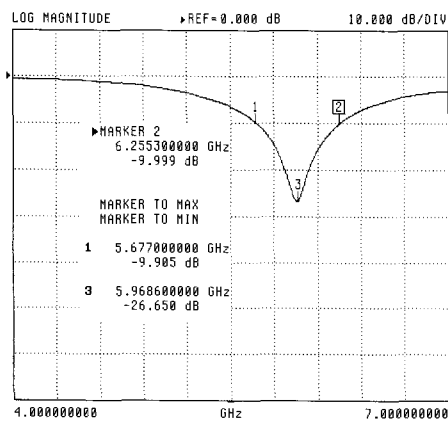
그림 8. 제작된 SWA의 사진 : (a)상층, (b)중간층 (c) 측면
 Fig. 8. Photograph of the fabricated microstrip SWA : (a)Top layer, (b)Middle layer, (c)Side View.

우 보다 원형일 경우 반사손실이 약 10dB가량 더 우수함을 알 수 있다.

그림 5는 방사패치가 정사각형일 때와 직사각형일 때의 계산된 반사 손실이다. 정사각형 보다 직사각형일 경우 대역폭은 50MHz, 반사손실은 25dB이상 개선되어 짐을 알 수 있다.

그림 6은 대역폭 확장을 위하여 기생소자를 삽입했을 경우와 삽입하지 않았을 경우에 대한 계산된 반사 손실이다. 기생 소자가 삽입 되어졌을 때 대역폭이 약 400MHz확장됨을 알 수 있다.

최적 설계된 SWA의 반사손실과 방사패턴은 그림 7 과 같고, 제작된 안테나는 그림 8과 같다.



(a)

2. 실험결과

그림 9는 회로망 분석기를 사용하여 측정된 SWA의 반사손실이다. 링모양의 기생소자가 없을 경우 대역폭은 5.67~6.25GHz로 9.7%이며, 링모양의 기생패치가 있는 경우는 5.66~6.39GHz로 12.1%로 나타나 링모양의 기생패치를 삽입하여 2.4%(150MHz)의 대역이 개선되었다. 그림 9에서 계산치보다 중심주파수가 5.5GHz보다 높은 5.9 GHz로 이동 하였으며 대역폭은 18%에서 12%로 감소하였다. 이것은 그림 10에서처럼 안테나를 적응하는 과정에서 생기는 공기층 때문이다.

그림 11은 SWA의 측정된 방사패턴이다. 측정결과, 계산치 와 유사한 특성을 나타내었다.

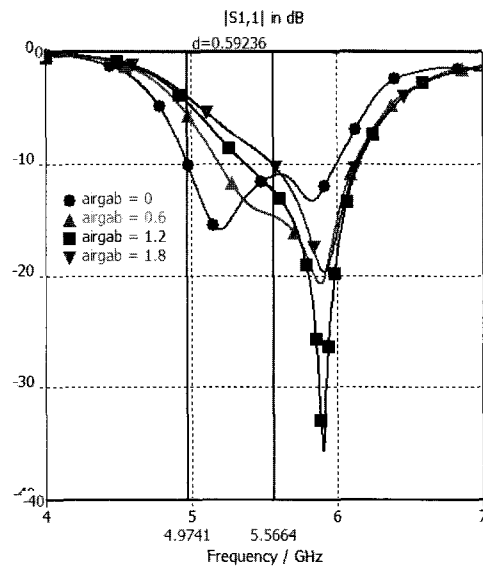
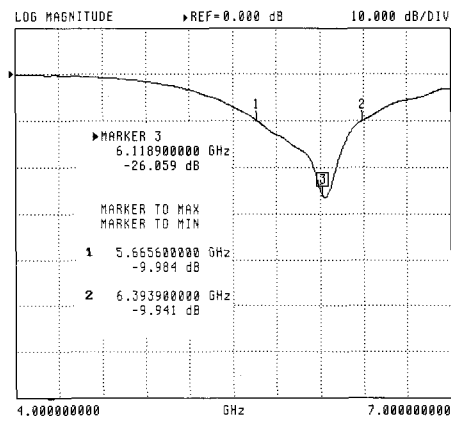


그림 10. 공기층의 영향에 대한 계산된 반사손실
 Fig. 10. Simulated return loss for the air-gap.



(b)

그림 9. 측정된 SWA의 반사손실 : (a) 기생패치 미 삽입 (b) 기생패치 삽입
 Fig. 9. Measured return loss of the SWA : (a) Without Parasitic patch (b) With parasitic patch

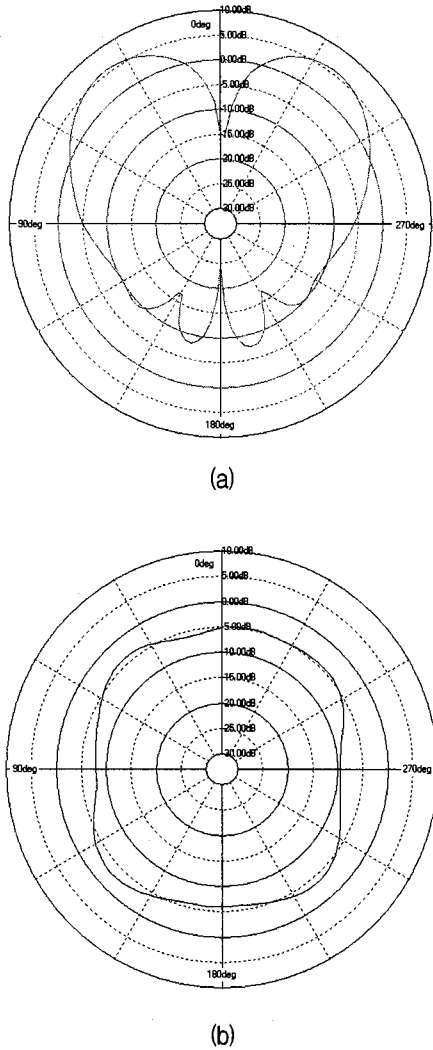


그림 11. 5.9GHz에서 측정된 방사패턴 : (a) E-면 (b) H-면

Fig. 11. Measured radiation pattern at 5.9GHz : (a) E-Plane (b) H-Plane.

V. 결 론

본 논문에서는 5GHz대역의 표면파 안테나를 설계, 제작 하였다. 반사손실의 측정결과 대역폭확장을 위하여 삽입한 링모양의 기생패치로 인하여 12.1%의 비교적 넓은 대역폭을 나타내었으며, 기생패치를 삽입한 경우가 그렇지 않은 경우보다 대역폭이 2.4%정도 개선되어졌다. 공진 주파수가 계산치 보다 약 400MHz정도 높게 나타났다. 이것은 안테나의 제작 과정에서 생긴 공기층의 영향이다. 이와 같은 공기층의 영향을 줄이고, 또한 이것을 이용하여 대역폭을 확장하는 연구가 필요하다.

표면파 안테나의 방사특성 측정결과 모노폴 형태의 방사패턴 특성을 가졌다. E-면의 방사특성은 좌우 대칭

의 형태를 가졌고, H-면의 방사특성은 무지향성 적인 특성을 가졌다. 이득은 5.6dBi로 나타났다.

참 고 문 헌

- [1] H. Nakano, K. Hitosugi, N. Tatsuzawa, D. Togashi, H. Mimaki, and J. Yamauchi, "Effects on the radiation characteristics of using a corrugated reflector with a helical antenna and an electromagnetic band-gap reflector with a spiral antenna", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 53, no. 1, pp. 191-199, Jan. 2005.
- [2] 김상우, 김부균, and 신종덕, "Mushroom 형태의 EBG구조가 집적된 마이크로스트립 패치 안테나의 방사특성 해석", *대한전자공학회 논문지-TC*, 제 45권 제4호, pp. 43-52, Apr. 2008
- [3] F. Yang, Y. Rahmat-Samii, and A. Kishk, "Low-profile patch-fed surface wave antenna with a monopole-like radiation pattern", *IET Microw., Antennas Propag.*, vol. 1, no. 1, pp. 261-266, Feb. 2007
- [4] A. Al-Zoubi, F. Yang, and A. Kishk, "A low-profile dual-band surface wave antenna with a monopole-like pattern", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 55, no. 12, pp. 3404-3412, Dec. 2007
- [5] T. K. Wu, "Frequency selective surface and grid array", John Wiley & Sons Inc. 1995
- [6] F. J. Zucker, "Surface-wave antennas", in *Antenna Engineering Handbook*, R. C. Johnson, New York : McGraw-Hill, Chap. 12, 1993
- [7] S. W. Lee, G. Zarrillo, and C. L. Law, "Simple formulas for transmission through periodic metal grids or plates", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. AP-30, no. 5, pp. 904-909, Sep. 1982

저 자 소 개



장 재 삼(정회원)
 1999년 경상대학교
 전자공학과 석사 졸업.
 2002년~현재 경상대학교
 전자공학과 박사 과정.
 2000년~현재 (주) A-Telecom
 <주관심분야 : 이동통신, 안테나,
 마이크로파 회로>



정 영 호(정회원)
 2001년 경상대학교
 전자공학과 석사 졸업.
 2003년~현재 경상대학교
 전자공학과 박사 과정
 1997년~현재 한국항공
 선임연구원
 <주관심분야 : 무선통신, 안테나, 전자장 수치해
 석>



이 호 상(정회원)
 1997년 경상대학교
 전자공학과 석사 졸업.
 2005년~현재 경상대학교
 전자공학과 박사 과정.
 1994년~현재 한국 수자원공사
 <주관심분야 : 안테나, 레이더 시
 스템, 무선통신>



조 동 기(정회원)
 2001년 경상대학교
 전자공학과 석사 졸업.
 2004년~현재 경상대학교
 전자공학과 박사 과정
 2000년~현재 한국소니전자
 <주관심분야 : 무선통신, 안테나>



박 승 배(학생회원)
 2007년 경상대학교
 전자공학과 학사 졸업.
 2007년 9월~현재 경상대학교
 전자공학과 석사 졸업.
 <주관심분야 : 안테나 해석 및 설
 계, RF회로, Metamaterials>



김 철 복(학생회원)
 2006년 경상대학교
 전자공학과 학사 졸업.
 2008년 경상대학교
 전자공학과 석사 졸업.
 <주관심분야 : 안테나 설계, RF회
 로, 전자장 수치해석, Particle
 swarm optimization, Metamaterial>



이 문 수(정회원)
 1970년 한국항공대학교
 통신공학과 학사 졸업
 1980년 한양대학교 전자통신
 공학과 석사 졸업.
 1984년 한양대학교 전자통신공학
 박사 졸업
 1981년~1986년 제주대학교 통신공학과 부교수
 1986년 9월~1987년 9월 미국 COMSAT 연구소
 연구원
 1999년 6월~1999년 8월 미국 Syracuse 대학교
 방문교수
 2004년 1월~2005년 2월 미국 미시시피 대학교
 방문교수
 1987년~현재 경상대학교 전자공학과 정교수
 <주관심분야 : 마이크로파, 무선통신, 안테나,
 Matamaterial>