



Improvement of Surface Wave Efficiency in Microstrip Antenna

Jae-Yeon Choi*

Department of Information & Communication Engineering, Namseoul University

ABSTRACT

In order to improve the bandwidth and increase the antenna efficiency, it is proposed that the surface wave and the lateral wave excitation are reduced. The theoretical analysis of the common mode of the patch leads to the design procedure of the antenna, and the reduction of the surface wave and the side wave is confirmed by the simulation result using the software. In the design of microstrip patch antenna presented in this paper, the antenna losses are therefore contained by controlling those quality factors which can have significant impact on bandwidth for given permittivity and substrate thickness. The gain of bandwidth product is a constant, therefore an effort has been made to improve the bandwidth of the patch antenna while ensuring desired radiation pattern. The effect of cover layer on impedance matching, Q factor hence bandwidth and frequency correction is discussed. The electric field and magnetic field components of the TE wave and the TM wave were analyzed using boundary condition between two materials, and the surface impedance was obtained. A method has been proposed to reduce the diffraction and mutual coupling at the edge of the substrate. An electromagnetic bandgap model for surface wave reduction is proposed and the efficient etching method and bandgap cell model is also introduced.

© 2018 KKITS All rights reserved

KEYWORDS: Surface wave, Lateral wave, Electromagnetic bandgap, Surface impedance

ARTICLE INFO: Received 30 November 2018, Revised 10 December 2018, Accepted 10 December 2018.

*Corresponding author is with the Department of Information & Communication Engineering, Namseoul University, 91 Daehak-ro Seobuk-gu Cheonan,

Choongnam, 31020, KOREA.
E-mail address: cjy@nsu.ac.kr

1. 서론

마이크로 스트립 안테나를 설계하는 데 있어서 주요 관심사 중 하나는 여기된 표면파이다. 표면파는 전력 손실에 기여하는 것 외에도, 패치 안테나 어레이의 경우와 같이 동일한 기판에 인쇄회로 부품들 간에 원치 않는 결합을 일으킨다[1]. 이러한 전자기적 결합을 줄이기 위한 여러 가지 시도가 최근 이루어 지고 있다 [2~5]. 결국, 여기된 표면파는 유한한 접지면의 가장자리에서 회절되어 방사 패턴이 손상되어 원하는 방사패턴이 나오지 않게 된다. 게다가, 표면파의 존재는 일반적으로 상당한 측면파와 낮은 방사 각도와도 관련이 있다

이것은 글로벌 위치 확인시스템 (GPS) 및 보조 GPS 수신 안테나 [6,7]와 같은 브로드 사이드 패턴을 갖는 수신 안테나에 간섭 신호로 작용할 수도 있다. 본 논문에서는 대역폭 향상과 안테나 효율의 증대를 위하여 불필요한 원치않는 표면파 및 측면파를 감소할 수 있도록, 마이크로스트립 안테나에서 유전체 기판과 스트립, 자유공간상의 경계조건을 이용한 파의 분석과 표면 임피던스를 해석하고, 패치의 공동모드에 대한 이론적인 분석을 하여 표면파가 감소 효과를 시뮬레이션 결과로 확인한다. 두 개의 재질로 된 경계면상에서 TE파와 TM파의 전계성분과 자계성분을 해석하고, 에지에서의 회절과 상호 결합을 줄이기 위한 방안을 제시하며, 표면파 감소를 위한 전자기 밴드갭 모델을 제안한다.

2. 마이크로스트립 안테나에서 표면파 해석

마이크로 스트립 선로에서 급전방식에 따라 유전체 기판을 설계함에 있어서 기판의 두께가 증가함에 따라, 표면파 및 스푸리어스 급전 방식이 또

한 증가하여 안테나의 대역폭을 저해한다. 이러한 유형의 급전 기술은 바람직하지 않은 교차 분극 효과를 초래한다[8]. 낮은 동작주파수로 인해 줄어든 전기적 두께를 보완하기 위해 단순히 기판 두께를 증가시킬 수 있다. 그러나 안테나의 높이가 표면파 효과로 인한 손실을 증가시키고 불필요한 방사로 인해 성능 특성이 저하된다. 두꺼운 기판은 기계적으로 강하기 때문에 방사 전력을 증가시키고 도체 손실을 줄이며 임피던스 대역폭을 향상시킨다. 그러나 이것은 안테나 무게, 유전 손실 및 표면 파 손실을 증가시킨다. 현대의 광대역 통신 시스템의 응용에서 패치 안테나를 구현하는 데 주요 장애는 좁은 대역폭이다. 마이크로 스트립 안테나는 대개 1 ~ 5 %의 대역폭으로 실현되는 데 대역폭 향상 기술은 마이크로 스트립 안테나 분야의 여러 성능개선을 위한 연구 분야 중 하나이다. 기본적으로 대역폭은 수용할 수 있는 주파수 f 와 공진주파수의 폭 f_0 의 비로서 백분율로 간단히 정의되는 데, 복사 효율, 반사 손실 및 전압 정재파비 (VSWR)와 같은 매개 변수도 종종 마이크로 스트립 안테나의 대역폭을 정의하는 데 사용된다.

안테나의 대역폭의 보편적 척도는 $1 \leq VSWR \leq 2$ 의 VSWR의 범위로 결정된다.

광대역 안테나 설계의 경우 안테나 구조에 몇가지 고려 사항이 필요하다. 낮은 양호도를 얻기 위한 큰 유전체의 기판 두께나 낮은 유전율, 정합된 급전 임피던스, 패치 구조의 최적화, 두꺼운 기판에서 표면파의 억제등이 고려 사항이다.

마이크로 스트립 안테나의 임피던스 대역폭은 낮은 유전 상수의 기판을 사용하거나 기판 두께를 증가시킴으로써 향상 될 수 있다. 기판 두께와 유전율이 낮으면 표면파가 증가하여 이득이 낮고 안테나 효율이 낮아 방사 필드 패턴이 왜곡된다. 따라서, 유전체 기판의 높이가 파장의 2 % 이상으로 증가하면 이러한 효과가 현저해진다.

단일 층 유전체 마이크로 스트립 안테나의 경우, 임피던스 대역폭은 기관의 두께를 증가시킴으로써 향상 될 수 있지만, 그러한 대역폭 향상은 표면파 증가로 인한 안테나의 효율을 저하시킨다. 선택적으로 다층 마이크로 스트립 안테나는 요구되는 동작 주파수에서 원하는 대역폭 또는 양호도를 달성 하도록 설계되기도 한다.

단일 유전체 마이크로 스트립 안테나는 분석하기 쉽기 때문에, 단일 층 패치의 파라미터는 기관의 주파수와 높이를 동일하게 유지함으로써 얻어진다.

변환된 다층 마이크로 스트립 안테나의 유효 유전율은 휠러의 변환식을 이용하여 계산 가능하다. 이 변환을 사용하면 임피던스 대역폭을 계산하기 위해, 모든 손실, 즉 방사 및 유전체, 전도 및 표면 파 손실 그리고 이와 관련된 양호도가 산출할 수 있다.

따라서 이러한 손실에 영향을 미치는 요인을 고려해야한다. 공동 모형에서, 마이크로 스트립 안테나의 방사 패턴은 유효 손실 탄젠트에 의해 모델링된다.

임피던스 대역폭은 급전회로망 설계 및 양호도의 최적화에 따라 달라진다. 개별적인 양호도를 분석하고, 이득과 손실 사이에 중요한 절충점을 얻기 위해 양호도를 최적화하는 것이 필요하다. 두꺼운 기관과 낮은 유전율의 유전체를 사용하면 안테나 대역폭이 향상된다. 유전체에서의 손실은 표면파 여기로 인해 이득이 낮아지고 그에 따른 효율이 감소하기 때문이다.

낮은 손실 탄젠트를 갖는 기관을 선택하면 유전 손실이 감소된다. 표면파는 패치에서 기관으로 아래쪽으로 전파되어 접지면에서 반사된다. 기관이 전기적으로 두꺼워짐에 따라 더 많은 표면파 모드가 존재하게 된다. 이러한 파동의 주요 단점은 안테나 소자 사이의 가까 결합을 유발하므로 억제 필요하다는 것이다.

2. 스트립에서 TE파, TM파

표면파는 두 개의 서로 다른 유전체 매체 사이의 경계면에 존재하는 파동으로 정의된다[9]. 이러한 파동은 인터페이스와 평행하게 전파되며 인터페이스에서 기하급수적으로 감소한다. 이 경계 부분에서 횡파 TM 파 및 횡파 TE 파의 전파는 두 개의 다른 매체 경계면에서 해석되는 데, 유전체 경계면에서 표면파는 TM파와 TE파 모두 금속과 같이 양의 유전 상수를 가진 재료에서만 전파된다는 것을 알 수 있다[10].

두 번째로 표면파 상태는 금속-유전체 경계면에서 설명되는 데, 그 결과는 평평한 금속-유전체 경계면에서 표면파가 빛의 속도로 전파 할 수 있고 이것은 단순히 표면전류이다[11]. 그리고 일반적인 임피던스 표면상에서 표면파의 특성이 결정된다. 표면 임피던스가 양의 리액턴스를 가질 때만 TM파가 전파 할 수 있는 반면 표면 임피던스가 음의 리액턴스를 가질 때 TE파가 전파된다.

일반적인 유전체 인터페이스의 경우, 매질1은 유전 상수 ϵ_1 을 갖는 상반부 공간을 차지하고 재료 2는 유전 상수 ϵ_2 로 하반부 공간을 차지한다. 인터페이스는 <그림 1>과 같이 xy 평면이 경계면이다. 경계면의 표면파가 감쇠 상수 α 로 $+z$ 방향으로 감쇠한다고 가정한다. $-z$ 방향에서 표면파는 감쇠 상수 β 로 감쇠한다.

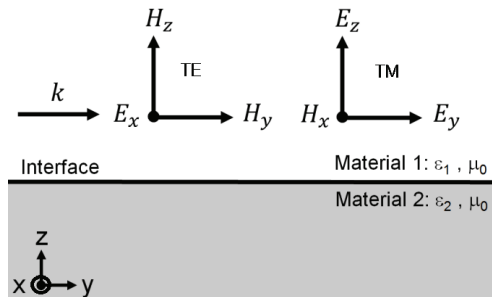


그림 1. 경계면에서의 TE파와 TM파
Figure 1. TE and TM wave on the interface

매질1의 영역에서 TM파의 자계 및 전계성분은

$$E_y = Ae^{j\omega t} e^{-jky - \alpha z} \quad (1)$$

$$E_z = Be^{j\omega t} e^{-jky - \alpha z} \quad (2)$$

$$H_x = -Aj \frac{\omega \epsilon}{\alpha} e^{j\omega t} e^{-jky - \alpha z} \quad (3)$$

$$-\beta^2 A - jk\beta \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} B = \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 \epsilon_{r2} A \quad (10)$$

$$-jk\beta A + k^2 \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} B = \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 \epsilon_{r2} B \quad (11)$$

파동 벡터 k 와 감쇠상수 α , 위상상수 β 는 최종적으로 다음과 같이 구해진다.

이고, 매질2의 영역에서 TM파의 자계 및 전계성분은

$$E_y = Ce^{j\omega t} e^{-jky + \alpha z} \quad (4)$$

$$E_z = De^{j\omega t} e^{-jky + \alpha z} \quad (5)$$

$$H_x = Aj \frac{\omega \epsilon}{\beta} e^{j\omega t} e^{-jky + \alpha z} \quad (6)$$

$$k = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} \sqrt{\frac{\epsilon_{r1} \epsilon_{r2}}{\epsilon_{r1} + \epsilon_{r2}}} \quad (12)$$

$$\alpha = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} \sqrt{\frac{-\epsilon_{r1}^2}{\epsilon_{r1} + \epsilon_{r2}}} \quad (13)$$

$$\beta = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} \sqrt{\frac{-\epsilon_{r2}^2}{\epsilon_{r1} + \epsilon_{r2}}} \quad (14)$$

이다. 여기서, A, B, C, D 는 임의의 상수이고, 경계조건과 파동방정식에 의해 TM 표면파는 식(7)과 같이 확장되어 나타낼 수 있다.

$$\left(\frac{\partial^2 E_z}{\partial z \partial y} - \frac{\partial^2 E_y}{\partial z^2} \right) \vec{a}_y + \left(\frac{\partial^2 E_y}{\partial z \partial y} - \frac{\partial^2 E_z}{\partial y^2} \right) \vec{a}_z = \omega^2 \mu_0 \epsilon (E_y \vec{a}_y + E_z \vec{a}_z) \quad (7)$$

(1)~(6)을 (7)에 대입하여 아래의 파동방정식을 얻는다.

$$jk\alpha B - \alpha^2 A = \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 \epsilon_{r1} A \quad (8)$$

$$jk\alpha A + k^2 B = \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 \epsilon_{r1} B \quad (9)$$

무선 주파수에서 금속물질의 유효 비유전율은 기본적으로 큰 허수이며, 다음과 같이 표시된다.

$$\epsilon_r(\omega) \simeq \frac{j\sigma}{\omega \epsilon_0} \quad (15)$$

(12~14)의 결론은 (15)로 대체하여 적용하면 금속-유전체 경계면에서의 표면파의 분산 관계를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$k \simeq \frac{\omega}{c_0} \sqrt{\epsilon_{r1}} \quad (16)$$

헬름홀츠방정식에 TM파를 적용하면 감쇠상수 α 와 파수 k 사이의 관계를 구할 수 있다.

$$\alpha^2 + \omega^2 \mu_0 \epsilon_1 - k^2 = 0 \quad (17)$$

$$k = \sqrt{\alpha^2 + \omega^2 \mu_0 \epsilon_1} \quad (18)$$

E_y 와 H_x 의 비로 표면 임피던스를 다음과 같이 구한다.

$$Z_{sTM} = \frac{j\alpha}{\omega\epsilon} \quad (19)$$

이 때 TM파의 파수는 다음과 같다.

$$k_{TM} = \frac{\omega}{c_1} \sqrt{1 - \frac{Z_{sTM}^2}{\eta_1^2}} \quad (20)$$

마찬가지 방법으로 TE파에서도 표면 임피던스와 파수를 다음과 같이 구한다.

$$Z_{sTE} = -\frac{j\omega\mu}{\alpha} \quad (21)$$

$$k_{TE} = \frac{\omega}{c_1} \sqrt{1 - \frac{\eta_1^2}{Z_{sTM}^2}} \quad (22)$$

(22)는 임피던스 표면상의 TE 표면파의 분산 관계를 나타낸다.

윗 식들로부터 유도성 표면 임피던스가 있는 표면에만 TM 파가 존재할 수 있음을 보여준다. TE 파에 대해서는 용량성 표면 임피던스가 파의 전파에 필요하다.

3. 마이크로스트립안테나의 방사패턴

표면파 여기 및 측면 복사를 줄이는 것은 에지 회절 및 상호 결합을 감소시킨다. 일반적으로 마이

크로스트립안테나에서 측면파와 표면파의 모델링을 <그림 2>에 나타내었다. 측면에지 회절은 유한 접지면에서 방사 패턴을 저하시킨다.

상호 결합은 안테나 사이에 바람직한 커플링을 야기한다. 표면파 여기 및 측면 복사를 줄이는 것은 에지 회절을 감소시킨다.

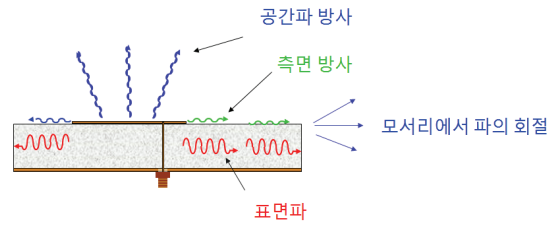


그림 2. 마이크로스트립안테나에서 표면파 모델링
Figure 2. Modeling of surface wave on the microstrip antenna

얇은 기판의 경우 위상상수와 파수는 $\beta_{TM_0} \approx k_0$ 로 간주하고 동일한 설계로 표면파의 필드와 측면 복사 필드를 줄일 수 있다[12].

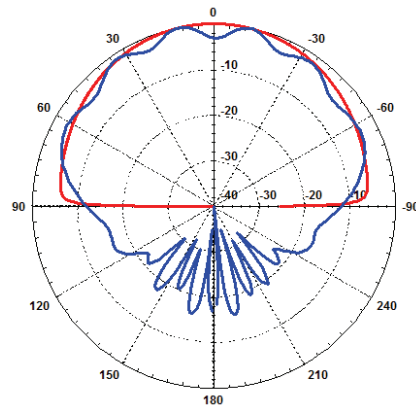


그림 3. 기존 안테나의 E면 방사패턴
Figure 3. E plane radiation pattern of conventional antenna

시물레이션과 측정을 통하여 E-면 방사 패턴을 구할 수 있는데, <그림 3>은 1.575 GHz에서 직경 1

m의 원형 접지면에서 측정을 수행한 원형패치 안테나의 방사패턴이다. 그림에서 푸른 선은 측정값이고, 빨간선은 무한 접지면에 대한 이론값이다. 또한 <그림 4>는 표면파가 감소된 안테나에서 E면 방사패턴을 보여준다.

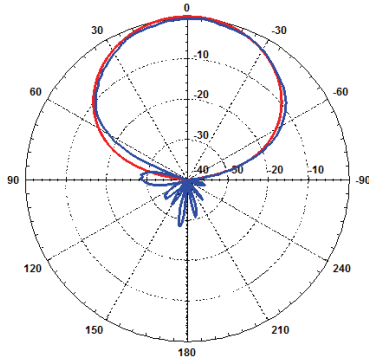


그림 4. 표면파 감소된 안테나의 E면 방사패턴
Figure 4. E plane radiation pattern of reducing surface wave antenna

표면파 여기 및 측방 복사를 줄이는 것은 상호 결합을 감소시킨다. <그림 5>와 같이 마이크로스트립안테나에서 인접 스트립간에 결합이 일어나게 된다. 스트립간의 결합은 안테나 성능에 영향을 주게되므로 표면파와 측방방사를 줄일 필요가 있다.

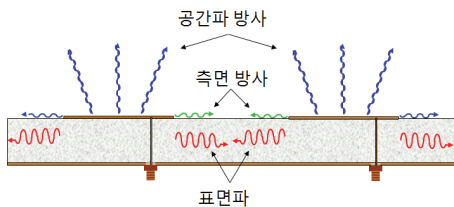


그림 5. 마이크로 스트립의 결합 모형
Figure 5. Coupling model between two microstrip lines

과장으로 표현된 분리도에 따른 표면파 감소된 성능을 <그림 6>에 나타내었다. 여기서 RSW는 표

면파가 감소된 마이크로스트립안테나이고, Conv는 기존의 안테나이다. 표면파 감소된 안테나의 S_{12} 와 기존의 안테나의 S_{12} 를 비교하여 <그림 6>에 나타내었다[13].

이러한 표면파 감소 기법은 밀리미터파를 이용한 통신체계 및 시스템에도 적용된다[11]. 밀리미터파 시스템은 고속통신, 적은 간섭, 안테나 크기는 칩 크기와 비슷하며 안테나와 칩의 통합이 가능한 안테나를 포함한 단일 칩 솔루션을 이루어 낼 수 있다[14]. 최근 밀리미터파 레이다의 민간인 사용이 증가하고 있는 데, 특히 주행로 탐색, 도로 교통 통제, 77 GHz 대역의 단거리 자동차 레이더를 이용한 고속도로 주행 안전등에 사용된다[15,16].

밀리미터파 주파수에서의 측정기법은 매우 어렵고, 측정시 불확실성을 최소화하는 것은 고정밀 디바이스나 장치의 측정 및 교정에 필요한 높은 기술과 같은 새로운 밀리미터파 응용분야의 개발에 중요하다[17,18].

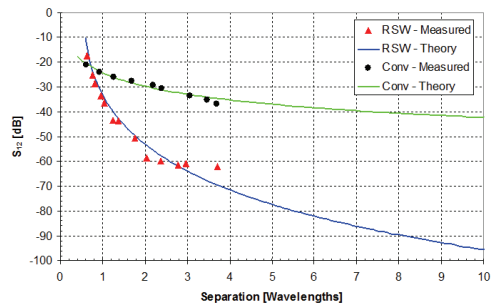


그림 6. 기존안테나와 표면파 감소된 안테나의 S_{12}
Figure 5. S_{12} performance of reduced surface wave antenna and conventional antenna

4. 전자기 밴드 갭을 이용한 표면파 감소

높은 유전율의 기판에서 마이크로 스트립 안테나에서는 여러 가지의 고려 사항이 존재한다. 먼저

능동 회로와 안테나 통합으로 온칩 마이크로 스트립 패치 안테나 구현이 이루어지므로 안테나로 인한 간섭이나 결합현상을 설계시에 충분히 고려해야 하고, 실리콘 기판과 짧은 파장으로 인한 안테나 크기 소형화가 이루어지는 데 비해, 기판은 이득 및 효율 손실을 유발할 뿐만 아니라 표면파로 인한 방사 패턴을 왜곡한다. 표면파는 두껍고 높은 유전율의 실리콘 기판에서 쉽게 여기되어 패턴 왜곡, 이득 저하, 교차 편파 증가를 초래한다. 서로 다른 두 재질 사이의 경계면에서 발생하는 모든 TM 및 TE 성질의 전자파가 전파되는 데, 보통 금속과 자유공간, 도체스트립이 부가된 유전체가 대표적이다. TM 표면파 모드는 패치 모드와 동일한 편파를 갖는다. 이득 및 방사 패턴을 향상시키는 해법으로 기판을 에칭하는 방법이 있는데, 낮은 유효 유전 상수의 환경을 만들고, 국부적으로 나타나지 않는 전자계 및 안테나 이득 및 효율 향상시키기 위한 방법으로 기판을 에칭할 수 있다.

전자기 밴드 갭(Electromagnetic Band-Gap, EBG) 구조를 안테나 가까이 에 패턴 화하여 표면파 전파를 막을 수 있다[19~21]. EBG는 재질을 변형시킨 하위 클래스이고, 표면파에 대한 밴드 갭을 생성하며, 여러 다른 유형의 EBG 구조를 사용할 수 있다. 제작의 단순용이성 때문에 비아홀이 필요없는 단층면 전자기 밴드 갭이 선택된다.

마이크로 스트립 패치 안테나의 에칭시에는 국부적인 후면 에칭이 사용된다. 실리콘을 기계적으로 가공하여 기판 높이를 달리 한다. 패치 바로 아래 실리콘을 제거하여 손실을 감소시키고 이득이 증가시키도록 한다. 최대 에칭 크기는 $700\mu\text{m}$ 이며 최소는 $100\mu\text{m}$ 이다.

표면파 억제를 위한 단층면 EBG 구조[22]를 갖도록 설계하는 데, 패치의 방사모드는 TM_{10} 모드가 기본 모드이나 패치는 TM과 TE의 원치 않는 표면파를 만든다. 전자기 밴드 갭 구조는 표면파를 필

터링 할 수 있다. 이것은 밴드갭을 만드는 포토닉 밴드갭 구조의 일종이고, 안테나 동작주파수 근처의 원치 않는 표면파 모드를 차단하고, 패치 모드에서 공간 모드로 결합 효율을 향상시킨다.

표면파억제를 위한 단층면 EBG 구조는 <그림 7>과 같이 설계될 수 있고 이것은 많은 EBG 모양들이 존재하는 데 그 중에 한 설계예이다.

<그림 7>의 구조를 갖는 마이크로 스트립 안테나를 <그림 8>과 같이 설계하면, EBG로 둘러싸이고, 에칭된 성능이 향상된 마이크로 스트립 안테나를 제작할 수 있다.

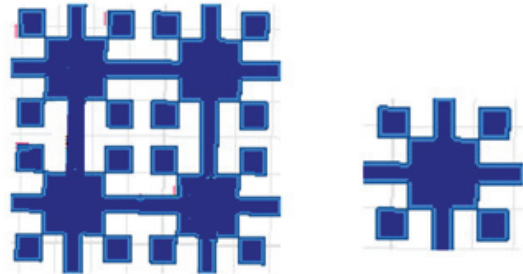


그림 7. (a) EBG 구조 (b) EBG의 단위 셀
Figure 7. (a) EBG structure (b) unit cell of EBG

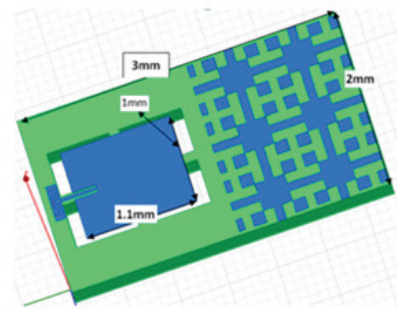


그림 8. EBG로 둘러싸인 패치 안테나
Figure 8. Patch antenna surrounded by EBG

최근에 단일 접지면 상에 에칭된 슬릿 패턴으로

구성된 구조가 밀접하게 패키징된 안테나 요소들 사이의 상호 결합을 줄이기 위해 제안되었다[23]. 연속파를 이용한 레이더의 경우, 트윈 안테나 방식을 사용하는 때 송신 안테나 어레이와 수신 안테나 어레이가 나란히 근접 배치된다. 상호 결합이 너무 강하면 송신 에너지가 수신기를 차단한다. 적응형 어레이의 중요한 기능은 간섭을 억제하는 것이다. 이는 간섭을 향한 방사 패턴의 널을 조정함으로써 달성된다. 그러나 널의 위치의 깊이 및 정확도는 안테나 요소들 간의 상호 결합의 존재에 의해 크게 영향을 받을 것이다. 낮은 사이드 로브 레벨 어레이 또는 위상 어레이의 설계와 같은 다른 경우, 상호 결합효과도 무시할 수 없으므로 신중하게 검토해야 한다. EBG구조는 두 개의 안테나 요소 사이에 배치 될 때 더 큰 격리를 제공하므로 안테나 요소 간의 상호 결합을 감소시킨다.

3. 결론

표면파는 두 개의 서로 다른 유전체 매체 사이의 인터페이스에 묶여있는 파동으로서 인터페이스와 평행하게 전파되며 인터페이스에서 지수함수적으로 줄어들게 된다. 이 부분에서 횡파 TM파 및 횡 전계 TE 파의 전파 과정을 분석하였다. 또한 유전체 인터페이스 및 금속-유전체 면에서 표면파 특성을 분석하고, 표면 임피던스를 구하였다. EBG 구조를 사용하면 마이크로 스트립 안테나 소자에서 더 많은 격리를 할 수 있다. EBG를 두 개의 안테나 요소 사이에 놓으면 충분히 좋은 S_{21} 이 달성되고, 이것은 위상 배열 안테나의 경우 상호 결합을 줄이는 중요한 방법이 될 것이다. 따라서, 마이크로파 주파수의 증가 및 안테나의 수가 증가함에 따라, 상호 결합이 감소 될 수 있고, 그에 따라 안테나의 월등한 성능이 달성 될 수있다. EBG 구조의 패치 안테나를 소개하였고, EBG 패치 안테나에

대해 S- 파라미터 및 방사 패턴을 측정하고 EBG 구조를 사용하여 어레이 요소 간의 상호 결합을 효율적으로 줄일 수 있었다.

References

- [1] R. Fallahi, and M. Roshandel, *Effect of mutual coupling and configuration of concentric circular array antenna on the signal to interference performance in CDMA systems*, Progress In Electromagnetics Research, PIER 76, pp. 427-447, 2007.
- [2] T. I. Suh, S. S. Lee, and H. T. Kim, *Mutual coupling reduction of antennas on a complex superstructure*, Journal of Electromagnetic Waves and Applications, Vol. 18, No. 7, pp. 983-991, 2004.
- [3] Y.Z. Zhu, Y.-J. Xie, Z.-Y. Lie, and T. Dang, *A novel method of mutual coupling matching for array antenna design*, Journal of Electromagnetic Waves and Applications, Vol. 21, No. 8, pp. 1013-1014, 2007.
- [4] J. Ouyang, F. Yang, S. W. Yang, Z. P. Nie, and Z. Q. Zhao, *Nonsurface wave mutual reduction in microstrip antennas array*, Journal of Electromagnetic Waves and Applications, Vol. 22, No. 7, pp. 915-922, 2008.
- [5] B. M. B. Kalaye, B. M. B. and J. Rashed-Mohassel, *A broadband and high isolation CPW fed microstrip antenna array*, Journal of Electromagnetic Waves and Applications, Vol. 22, No. 2/3, pp. 325-334, 2008.
- [6] B. W. Parkinson, *Global positioning system: Theory and application*, Chapter 14, American Institute of Aeronautics & Ast,

- Vol. 1, 1996.
- [7] S. C. Liew, K. G. Tan, and T. S. Lim, *Investigation of direct A-GPS positioning for hybrid E-OTD/GNSS*, Journal of Electromagnetic Waves and Applications, Vol. 20, No. 1, pp. 79-87, 2006.
- [8] S. Bisht, S. Saini, V. Prakash, and B. Nautiya, *study the various feeding techniques of microstrip antenna using design and simulation using CST microwave studio*, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Vol. 4, pp. 318-324, 2014.
- [9] R. Collin, *Field theory of guided waves*, 2nd ed., New York: IEEE Press, 1991.
- [10] D. Sievenpiper, *High impedance electromagnetic surfaces*, Ph.D. Dissertation, Department of Electrical Engineering, UCLA, Los Angeles, CA, 1999.
- [11] D. Sievenpiper, L. Zhang, R. F. J. Broas, N. G. Alexopolous, and E. Yablonovitch, *High-impedance electromagnetic surfaces with a forbidden frequency band*, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 47, No. 11, pp. 2059-2074, 1999.
- [12] <http://courses.egr.uh.edu/>, Jan. 2017.
- [13] M. A. Khayat, J. T. Williams, D. R. Jackson, and S. A. Long, *Mutual coupling between reduced surface-wave microstrip antennas*, IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol. 48, pp. 1581-1593, Oct. 2000.
- [14] Y. J. Lee, J. Yeo, R. Mittra, and W. S. Park, *Application of electromagnetic bandgap (EBG) superstrates with controllable defects for a class of patch antennas as spatial angular filters*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 53, No. 1, pp. 224-235, 2005.
- [15] S. G. Mao, M. Y. Chen, *Propagation characteristics of finite-width conductor-backed coplanar waveguides with periodic electromagnetic bandgap cells*, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 50, No. 11, pp. 2691-2703, 2002.
- [16] F. Yang, and Y. Rahmat-Samii, *Reflection phase characterizations of the EBG ground plane for low profile wire antenna applications*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 51, No. 10, pp. 677-682, 2003.
- [17] D. H. Schaubert, D. M. Pozar, and A. Adrian, *Effect of microstrip antenna substrate thickness and permittivity*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 37, No. 6, pp. 677-682, 1989.
- [18] J. H. Lu, and K. L. Wong, *Slot-loaded meandered rectangular microstrip antenna with compact dual frequency operation*, Electronic Letters, Vol. 34, pp. 1048-1050, 1998.
- [19] R. Porath, *Theory of miniaturized shorting-post microstrip antennas*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 48, No. 1, pp. 41-47, 2000.
- [20] J. L. Volakis, C. C. Chen, and K. Fujimoto, *Small antennas: Miniaturization techniques & application*, New York: McGraw-Hill, 2010.
- [21] J. M. Bell, and M. F. Iskander, *A low-profile archimedean spiral antenna using an EBG ground plane*, IEEE antennas and wireless propagation letters, Vol. 3, pp. 223-226, 2004.

- [22] M. H. Nemati and I. Tekin *A 77GHz on-chip microstrip patch antenna with suppressed surface wave using EBG substrate*, IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI) 2013.
- [23] C. Y. Chiu, C. H. Cheng, R. D. Murchm and C. R. Rowell, *Reduction of mutual coupling between closely-packed antenna elements*, in IEEE Trans. Antennas Propagation, Vol. 55, No. 6, pp. 1732-1738, 2007.

감사의 글

이 논문은 2018년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었음



Jae-Yeon Choi received the B.S., M.S., and Ph.D. degrees in electronic communication engineering from Hanyang University, Seoul Korea in 1985, 1987 and 1998, respectively. From 1987 to 1989, he was with Samsung Advanced Institute of Technology. From 1989 to 1992, he was with LG Information & Communication Research Center. Since 1996 he has been with Department of Information & Communication, Namseoul University, Korea, where he is now a professor.

E-mail : cjy@nsu.ac.kr

마이크로 스트립 안테나에서 표면파 효율 개선

최재연

남서울대학교 정보통신공학과 교수

요 약

대역폭 향상과 안테나 효율의 증대를 위하여 표면파 및 측면파 여파가 감소된 안테나로서 제안된다. 패치의 공동모드에 대한 이론적인 분석을 하여 안테나의 설계 절차로 이어질 수 있도록 하고, 소프트웨어를 사용한 시뮬레이션 결과로 표면파와 측면파의 감소를 확인한다. 제시된 마이크로 스트립 패치 안테나의 설계에서 주어진 유전율과 기판 두께에 대해 대역폭에 상당한 영향을 미칠 수 있는 양호도 제어가 안테나 손실에 포함된다. 대역폭의 이득은 일정하기 때문에, 원하는 방사 패턴을 보장하면서 패치 안테나의 대역폭을 개선하기 위한 노력이 이루어졌고, 임피던스 정합, Q 인자, 대역폭 및 주파수 보정에 대한 기판 상위층의 효과에 대해 분석하였다. 두 개의 재질로 된 경계면상에서 TE파와 TM파의 전계성분과 자계성분을 해석하고, 표면 임피던스를 구하였다. 에지에서의 회절과 상호 결합을 줄이기 위한 방안이 제시되었다. 표면파 감소를 위한 전자기 밴드갭 모델을 제안하고 효율적 에칭방법과 밴드갭 셀 모형을 제시하였다.