논문 2012-49TC-2-7

패브리 패롯 공진기형 위상배열 안테나 설계

(Scanned Array Antenna using Fabry Perot Resonator)

김 종 성*

(Jong-Sung Kim)

요 약

이 논문에서는 스캔 기능을 갖는 패브리 패롯형 공진기 안테나에 대해서 다룬다. 제안하는 배열 안테나는 슈퍼스트레이트/PEC 복합체내에 마이크로스트립 급전 어레이를 이용하는 것으로 급전 위상에 따라서 빔 틸트 각도의 제어가 가능하다. 기존의 배열 안테나와 비교하여 안테나 어퍼쳐 크기의 증가로 높은 디렉티비티와 사이드 로브 억압비의 개선을 가져온다.

Abstract

Fabry-Perot (FP) resonator antennas with scan capabilities are described in this paper. The proposed antennas, excited by a thinned array, not only achieve higher directivities but also improve suppression of sidelobes relative to that of the thin array alone. Compared to the conventional microstrip patch array, the directivity enhancement and suppression of sidelobe level were achieved by increase of the aperture size of the proposed Fabry-Perot resonator antenna.

Keywords : Directivity, superstrate, sidelobe level suppression, grating lobe, FDTD

Ⅰ. 서 론

패브리 패롯 공진기형 안테나는 광범위하게 연구되었지만, 이는 마이크로스트립 패치 안테나와 같은 단일 급전을 이용한 공진기 여기 구조에 대부분 적용되었다.

이 논문에서는 스캔 기능을 구현하기 위하여 배열 안테나의 급전을 이용하는 FP 공진기형 안테나에 대한 연구 결과를 나타낸다. 이는 참고문헌 [1] 및 [2]에서와 같은 사이드 로브 억제 효과만을 위한 것이 아니라 일정한 각도 범위에 내에서 FP 형 안테나의 스캔기능을 구현하는데 그 목적이 있다.

이 논문에서는 슈퍼스트레이트를 도입하여 안테나간의 간격이 1 파장 이상인 경우에도 그레이팅 로브를 나타내지 않으면서 디렉티비티의 증대를 통하여 어레이 급전기 내에서의 안테나의 수가 감소되는 것을 나타내었다. 이를 4x1 급전기를 이용한 FP형 안테나의 근접 전계의 세기와 위상을 구하고 이를 슈퍼스트레이트가 없는 4x1 마이크로스트립 패치 안테나나 어레이에서의 근접 필드와 비교하여 그 특성의 차이를 분석한다. 이를 통하여 그레이팅 로브가 발생치 않으면서 디렉티비티의 증가가 가능한 위상배열 안테나를 제안한다. 이

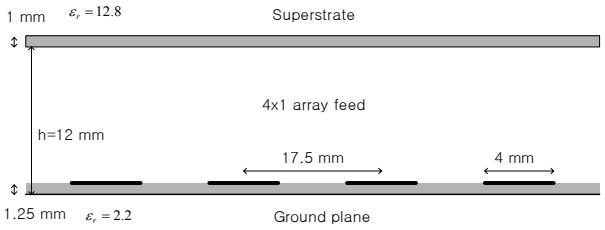


그림 1. 슈퍼스트레이트/PEC 복합체를 이용하여 빔 조향 기능을 갖는 Fabry-Perot 공진기형 안테나 구조

Fig. 1. Geometry of scan-capable Fabry-Perot resonator antenna excited by 4x1 array feed inside a superstrate/PEC composite.

* 정회원, 경성대학교 정보통신공학과
(Kyungsung Univ.)

접수일자: 2011년12월2일, 수정완료일: 2012년2월17일

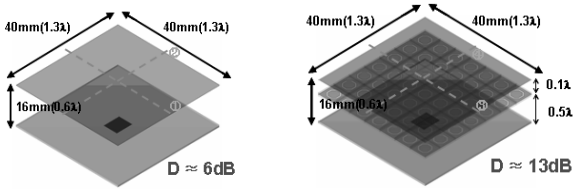
구조는 안테나의 수의 감소에 따른 급전기의 단순화를 통한 시스템의 효율성을 증대시킨다.

Ⅱ. 슈퍼스트레이트/PEC 합성구조를 이용한 4x1 스캔 어레이 안테나 설계

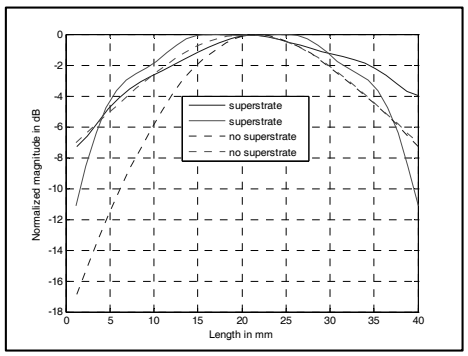
2.1 FP 형 공진기 안테나의 근접 전계 특성

그림 1 에는 4x1 배열 안테나로부터 1/2 파장의 높이에 슈퍼스트레이트로서 고유전체 슬랩을 위치시켜서 합성체로서 동작하는 배열 안테나의 구조를 나타내었다. 슈퍼스트레이트/PEC 합성구조의 아래쪽 내부에 위치하는 균일 4x1 패치 배열 안테나로 구성되는 FP 안테나는 FDTD 수치해석에 의하여 설계한다.

여기에서는 12 GHz 의 동작 주파수에서 FP 형 공진기의 여기 구조로서 균일 마이크로스트립 패치 배열 안테나를 나타내었다. 마이크로스트립 안테나는 유전율 2.2 이고 두께가 1.25 mm 인 기판위에 위치한다. 각 요소 패치는 10.7 x 4.0 mm^2 의 크기를 갖는 마이크로스트립 패치 안테나를 이용한다. 이는 패치의 중심으로부터 1.8 mm 의 위치에 프로브 급전 방식에 의하여 신호가 인가된다. 유전율이 12.8 이고 두께가 1.0 mm 인 높은 유전율을 갖는 슈퍼스트레이트가 패치 안테나로부터



(a) 안테나 어퍼쳐 크기 비교



(b) 중심선에서의 Ey 의 크기 비교

그림 2. FP 형 공진기 안테나와 단일 마이크로스트립 패치 안테나의 표면의 어퍼쳐 크기 비교

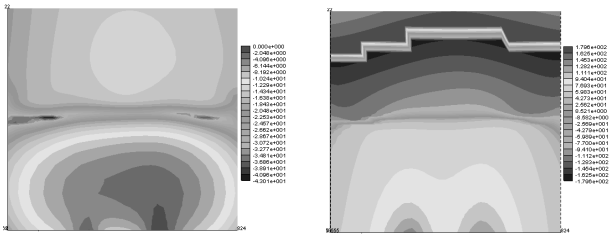
Fig. 2. Field distributions of the Fabry-Perot resonator antenna and a single microstrip antenna.

반파장의 높이인 12 mm 에 놓인다. 0.5 dB 정도의 높은 반사도가 12 GHz 의 주파수 근처에서 얻어진다. 이러한 어레이 급전에 의한 슈퍼스트레이트/PEC 복합체는 FP 형 공진기로서 동작한다. 슈퍼스트레이트와 PEC 접지면 사이의 간격이 1/2 파장이며 4개의 급전 안테나에 인가된 신호는 슈퍼스트레이트와 PEC 가 반사면이 되어 그 사이에서 정재파가 형성된다. FP 공진기내에서의 전계의 크기와 위상을 구해보면 공진기의 중심에서의 필드의 크기가 가장 강하고 그 위상은 공진기의 전체면에 걸쳐서 균일한 특성을 나타낸다. 이 공진기내의 중심 근처의 필드의 세기가 가장 강한 주파수에서 안테나의 어퍼쳐의 크기가 가장 크고, 이로 인하여 안테나의 디렉티비티의 증가를 가져온다.

FP 안테나의 유효 어퍼쳐의 크기에 대하여 기존의 슈퍼스트레이트가 없는 패치 안테나만 있을 경우와 비교한다. 단일 급전에 의한 FP 공진기의 슈퍼스트레이트로부터 3mm 의 높이에 관측면을 두고 이 면에서의 전계의 크기를 얻는다. 그림 2에는 FP 공진기의 관측면에서의 필드의 상대적인 값을 나타낸 것이다. 이 단일 급전 안테나의에서 필드의 크기는 Ey 성분이 도미넌트 모드인데 이를 그림 2(a) 에 나타낸 바와 같이 패치의 표면으로부터 16mm 의 높이에 위치한 관측면의 중심을 따라 x 및 y 방향에 따라서 서로 비교하여 보았다.

Ey 필드에 대해서 FP 공진기의 x 및 y 방향에서의 필드의 크기가 x 방향에 대해서는 17%, y 방향에 대해서는 40% 가 증가되었다. 이는 FP 공진기에 의한 안테나의 어퍼쳐의 크기가 증가된 것을 의미한다.

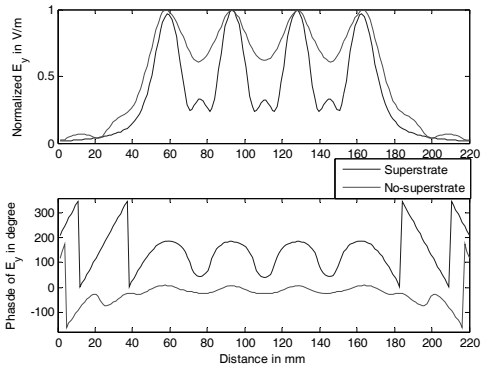
그림 3에는 그림 2(a) 의 패브리 패롯 공진기의 y 방향으로 수직으로 절단한 면에 관측면을 설정하고 전계 Ey 의 크기와 위상을 구한 것이다. 슈퍼스트레이트가 중간에 위치하고 아래쪽이 공진기 쪽이고 위쪽이 공기측 방향이다. 공진기내에서 전계의 분포가 정재파에 의



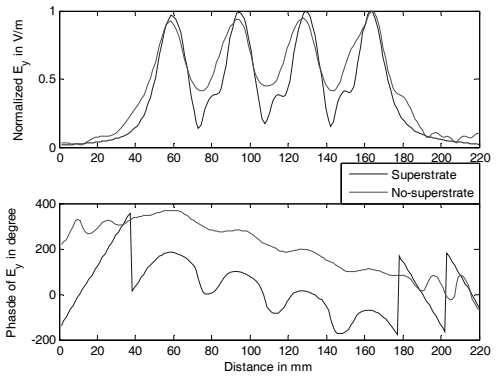
(a) 크기 (b) 위상

그림 3. FP 형 공진기 안테나의 수직면에서의 전계분포

Fig. 3. Field distributions on the vertical observation plane inside the Fabry-Perot resonator.



(a) 급전 위상차 = 0°



(b) 급전 위상차 = 90°

그림 4. 4x1 급전구조를 갖는 FP형 공진기 안테나의 근접 전계의 세기와 위상 변화

Fig. 4. Field distributions of the Fabry-Perot resonator antenna excited by 4x1 array feed structure.

한 특성 분포를 나타내고 있다. 그리고 위상 특성에 있어서는 공진기 내부에서의 위상은 대체로 동일 위상을 나타내는 반면에 공기측에서는 진행파형 위상을 나타낸다.

그림 4(a) 에는 패브리 패롯 공진기내에서 4x1 패치 급전기에서 급전 위상차가 없는 경우에 대해서 슈퍼스트레이트로부터 3 mm 의 높이에서의 Ey 필드의 크기와 위상을 나타내었다. 이러한 근접 전계의 비교를 위해서 슈퍼스트레이트가 없는 4x1 패치 배열 안테나의 위상을 함께 나타내었다. 패브리 패롯 공진기에서의 필드의 크기는 개별 안테나 어퍼쳐의 크기의 증가로 인하여 요소 안테나간의 필드의 세기가 슈퍼스트레이트가 없는 경우보다 더 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 위상 특성에 있어서는 슈퍼스트레이트가 없는 경우에는 요소 안테나가 있는 위치에 비해서 그 사이에서는 위상이 약 60도의 편차를 나타낸다. 반면에 패브리 패롯 구조에서는 위상이 전체적으로 균일한 특성을 나타낸다. 이는 패브리 패롯 공진기에서 정재파가 형성되고 이의 일부가 출력으로 나오는데 이는 필드의 세기와 위상에 있어서 패브리 패롯이 아닌 경우보다 다른 특성을 나타낸다.

그림 4(b)에는 그림 4(a)와 같은 배열조건에서 급전 위상차를 90도를 인가할 경우의 Ey 성분의 크기와 위상을 나타내었다. 크기 분포는 그림 4(b) 와 유사하지만 위상 분포는 90도씩 증가한다. 패브리 패롯 공진기에서는 안테나 사이영역에서도 위상특성이 선형적으로 증가하지만 슈퍼스트레이트가 없을 경우에는 이산적인 특성을 나타낸다. 이로 인하여 FP 형 공진기 안테나에서는 90도의 급전 위상차가 있는 경우에도 그레이팅 로브가 발생하지 않는다.

그레이팅 로브는 안테나 어레이에서 요소간의 간격이 0.5 파장 이상일 경우에는 공간적인 알리아싱에 의해서 메인 로브의 크기와 비슷한 크기의 사이드 로브가 발생된다. 그림 3과 같이 급전 안테나 사이 영역에서 필드의 변화가 완만하고 위상 변화가 작을 경우에는 공간적인 알리아싱이 작용하지 않아서 그레이팅 로브가 발생하지 않는다.

2.2 FP 공진기 안테나의 반사특성

그림 5 에는 급전기간의 간격이 35 mm, 즉 12 GHz 의 주파수에서 1.4 파장의 요소간의 간격을 갖는 4x1 배열 구조에서 4개의 요소에 동일한 위상으로 동일한

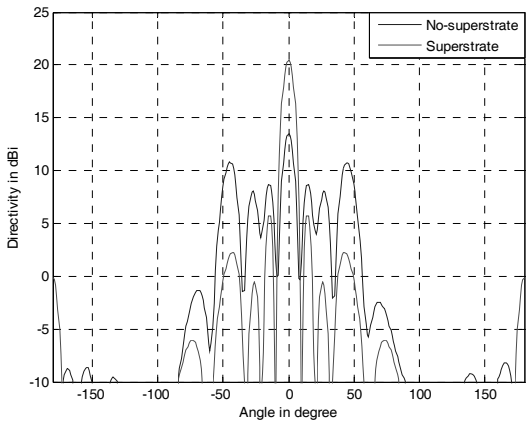


그림 5. 빔 조향 기능을 갖는 Fabry-Perot 공진기형 안테나와 4x1 마이크로스트립 배열 안테나의 방사패턴

Fig. 5. Radiation pattern of Fabry-Perot resonator antenna using 4x1 array feed.

전력을 인가할 경우의 H-평면에서의 방사패턴을 나타내었다. 슈퍼스트레이트/PEC 합성체로 동작하는 패브리 패롯 공진기 구조는 20.3 dBi 의 최고 디렉티비티를 나타내었다. 이는 슈퍼스트레이트가 없는 경우, 즉 패치 어레이만일 경우의 13 dBi 보다 보다 약 7 dBi 정도 증가된 수치이다. 디렉티비티가 증가된 것은 공진 상태에서 안테나 어퍼쳐의 실효 크기가 증가했기 때문이다. 슈퍼스트레이트가 없을 경우의 4x1 어레이는 11 dB 의 사이드 로브 레벨을 나타내며 이는 약 2 dB 의 사이드 로브 레벨 억압비를 나타낸다.

이는 안테나 간의 간격이 클 경우에 일어나는 그레이팅 로브에 기인한다. 반면에 슈퍼스트레이트가 배열 위에 놓일 경우에는 13 dB 의 사이드 로브 레벨의 억압비가 얻어진다.

2.3 급전 간격에 따른 방사특성

슈퍼스트레이트/PEC 합성체 어레이의 요소간의 간격에 대한 효과를 알아보기 위하여 그림 6 에는 0.3에서 2.0 파장의 간격에 대해서 안테나 상호간의 간격에 따른 최대 디렉티비티와 사이드 로브 레벨 억압비를 나타내었다. 여기에서 안테나의 급전 위상차는 90 도의 상태에서 안테나간의 간격을 변화시켜 디렉티비티와 사이드 로브 레벨 억압비를 구하였다.

요소 상호간의 간격이 1.2 파장까지 증가할 경우에는 디렉티비티는 처음에는 증가하다가 약 20 dBi 정도에서 포화가 된다. 사이드로브 레벨 억압비는 슈퍼스트레이트가 없는 경우에는 0.5 파장 이상의 간격에서는 그레이팅 로브의 생성으로 인하여 사이드 로브의 크기가 증가한다. 그러나 슈퍼스트레이트/어레이 복합체의 경우에는 0.5 파장 이상의 간격에서도 사이드 로브가 증가하지 않는다.

이는 그레이팅 로브가 배열/슈퍼스트레이트 복합체에서는 큰 요소간의 간격에도 불구하고 생성되지 않는다. 이는 그림 3에 나타낸 바와 같이 FP 공진기 구조에서는 슈퍼스트레이트와 PEC 접지면 사이에서 공진이 형성되고 슈퍼스트레이트층을 투과한 전파의 크기와 위상을 비교해보면 급전기간의 사이 영역에서의 필드의 크기가 완만한 특성을 나타내며 위상은 선형적인 특성을 갖는다. 이로 인하여 급전 안테나간의 간격이 클 경우에 발생하는 공간적인 알리아싱 현상이 억제되는 특성을 갖는다.

2.4 급전위상 변화

다음은 제안하는 빔 스캔 어레이의 방사 특성이 4x1 배열 안테나의 각 입력단에서의 여기되는 위상을 변화시킴으로써 디렉티비티와 사이드 로브 레벨이 어떻게 변화하는지를 나타낸다. 급전 패치 안테나간의 간격이 1.4 파장 길이의 조건에서 0 도에서 180 도 범위의 위상 변화에 대해서 디렉티비티와 사이드 로브 레벨을 계산한 결과는 그림 7 에 나타내었다. 일부 성능 저하가 나타났지만 슈퍼스트레이트/PEC 복합체에 대해서 디렉티비티 증가과 사이드 로브 레벨의 감소가 가능하였다.

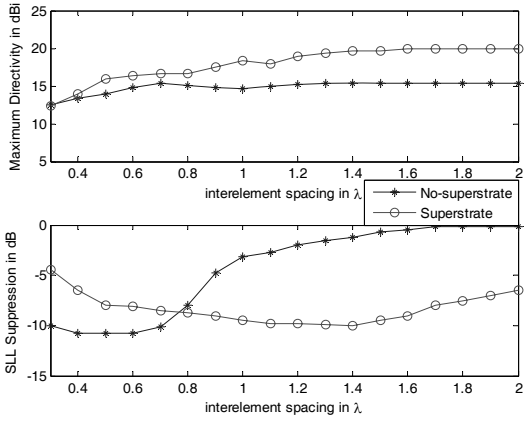


그림 6. Fabry-Perot 공진기형 안테나에서 급전 안테나 간의 거리에 따른 방사특성

Fig. 6. Maximum directivities and suppression of sidelobe level of Fabry-Perot resonator antenna using 4x1 array feed.

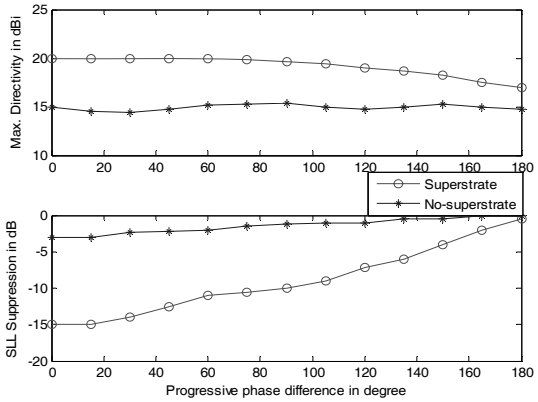


그림 7. Fabry-Perot 공진기형 안테나에서 급전 위상차의 변화에 따른 디렉티비티와 사이드 로브 레벨 특성의 변화

Fig. 7. Maximum directivities and suppression of sidelobe level of Fabry-Perot resonator antenna excited by 4x1 array.

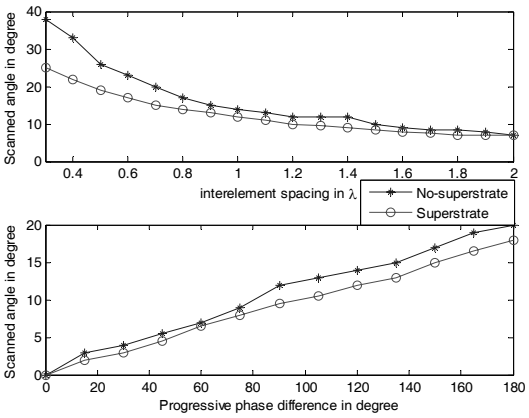


그림 8. Fabry-Perot 공진기형 안테나에서 안테나간의 거리와 급전 위상차의 변화에 따른 최대 조향 각도의 변화

Fig. 8. Maximum scan angle of the proposed Fabry-Perot resonator antenna excited by 4x1 array feed.

180°의 각도 증분을 제외하고는 그레이팅 로브가 발생하지 않음을 확인하였다.

그림 8은 안테나 요소간의 거리와 급전 위상의 변화에 대한 최대 틸트각의 변화를 나타내었다. 4개의 안테나간의 급전 위상차가 90도일 경우에 안테나 간의 거리를 0.3에서 2파장까지 변화시킨 경우에 최대 틸트각의 변화를 나타내었다. 전체적으로 슈퍼스트레이트/어레이 복합체의 경우에 틸트각이 약간 감소하고, 간격이 큰 경우에는 틸트각이 감소하는 특성을 나타내었다.

슈퍼스트레이트/PEC 복합체의 최대 스캔각이 슈퍼스트레이트가 없는 경우보다 약 1도가 낮다. 이는 thinned 어레이에서 그레이팅 로브를 발생시키지 않으면서 구현되는 높은 디렉티비티의 특성이 장점인 반면에 약점으로 나타나는 효과이다.

Ⅲ. 제작 및 측정결과

그림 9에는 4x1 배열형 급전을 이용한 패브리 패롯형 공진기 안테나의 제작된 형태를 나타내었다. 안테나의 높이는 12 mm 그리고 급전 패치간의 간격이 35 mm 의 조건에서 방사패턴을 측정하였다. 그림 10에는 4x1 급전기에서 급전 포트간의 위상차는 90도의 조건에서 방사패턴을 측정한 결과를 시뮬레이션 결과와 비교하여 나타낸 것이다. 12 GHz 의 주파수에서 약 18 dB 의 이득을 나타내었는데 이는 FDTD 결과보다 약 2 dB

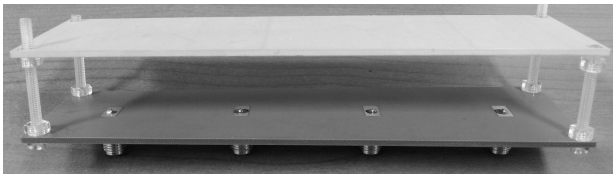


그림 9. 제작한 4x1 배열 급전 형태의 Fabry-Perot 공진기형 안테나

Fig. 9. Photograph of the fabricated Fabry-Perot resonator antenna.

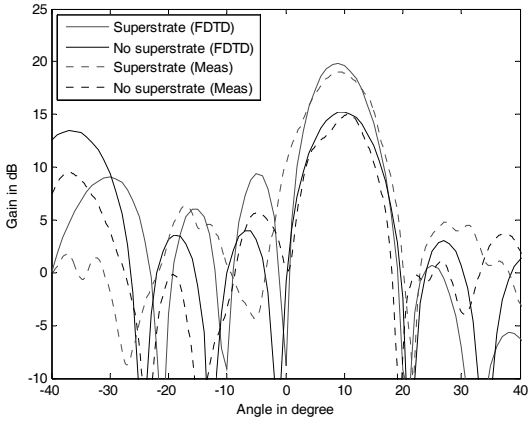


그림 10. 패브리 패롯 공진형 안테나의 이득 측정

Fig. 10. Gain pattern of the Fabry Perot resonator antenna.

의 오차를 나타내었다. 빔의 스캔 각도는 약 9도 정도이며 이는 슈퍼스트레이트가 없을 경우의 10도보다 약 1도 감소한 결과이다. 그림 8에 나타낸 바와 같이 스캔 각도는 패브리 패롯형이 약간 감소하나 디렉티비티와 사이드 로브 억압비는 개선되는 특성을 측정을 통하여 확인되었다. SLL 은 패브리 패롯형 공진기 안테나에서는 약 12 dB 이며 이는 슈퍼스트레이트가 없는 경우의 6 dB 보다 약 6 dB 의 개선된 특성을 나타내었다.

전반적으로 슈퍼스트레이트/어레이 복합체에 위치한 4x1 어레이의 경우에 다음과 같은 특성을 나타내는 것을 알 수 있다.

첫째, 슈퍼스트레이트의 존재로 인하여 FP 공진기가 형성되어 안테나의 어퍼쳐 크기의 증가에 의한 디렉티비티의 증가되었으며 본 논문의 4x1 어레이의 경우 12 GHz 의 주파수에서 약 5 dB 의 증가를 나타내었다.

둘째, 슈퍼스트레이트/어레이 복합체의 경우에는 급전 안테나 간격이 클 경우에는 안테나 어퍼쳐의 크기가 증가되는 특성을 나타내는데, 이에 수반되는 그레이팅 로브는 나타나지 않는다. 이는 FP 공진기내에 정재파가

형성되어 급전간의 사이 영역에서도 필드의 세기가 완만하고 위상 또한 선형적인 변화를 나타내어 결과적으로 그레이팅 로브가 생성되지 않는다.

셋째, 안테나의 급전 위상의 변화에 대한 틸트각의 변화를 관측하였는데 thinned array 의 경우에는 원리적으로 fine array 에 비해서 틸트각이 크지 않은 범위이고 슈퍼스트레이트가 있는 경우에는 약 1-2 도의 틸트각이 감소하는 특성을 나타내었다.

향후 참고문헌 [3]과 같은 다중밴드 대역에서 스캔기능을 구현할 계획이다.

Ⅳ. 결 론

공진기 안테나를 위하여 단일 급전으로 구현이 불가는한 스캔 기능을 배열 구조를 이용하여 나타내었다. 요소간의 간격이 0.5 파장 보다 큰 경우에도 배열 구조에서 안테나 요소의 수는 그레이팅 로브의 도입없이 감소가 가능하다. 이 논문에서는 12 GHz 의 주파수에서 12 mm 의 높이를 갖는 공진기형 배열 구조를 구현하였다.

참 고 문 헌

[1] Y. Lee, S. Jeong, W. Park, J. Yun, and S. Jeon, “Multilayer spatial angular filter with air-gap tuners to suppress grating lobes of 4 x 1 array antenna,” Electron. Lett., vol. 39, pp. 15 - 17, Jan. 2003.

[2] 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 Trans. of Antennas and Propagation, Vol. 53, No. 1, pp. 224-235, 2005.

[3] A. Pirhadi, M. Hakkak, F. Keshmiri, and R. K. Baee, “Design of Compact Dual Band High Directive Electromagnetic Bandgap (EBG) Resonator Antenna Using Artificial Magnetic Conductor,” IEEE Trans. of Antennas and Propagation, Vol. 55, No. 6, pp. 1682-1690, 2007.

저 자 소 개

김 종 성(정회원)

1988년 2월 경북대학교 전자공학과 학사졸업

1990년 2월 한국과학기술원 전기 및전자공학과 석사졸업

2001년 8월 포항공과대학교 전자전기공학과 박사졸업

1990년～2002년 KT 연구개발 본부 선임연구원

2004년 9월～현재 경성대학교 정보통신공학과 부교수

<주관심분야: 초고주파공학, 전자파 수치해석>