

主題

광학 밴드 갭(Photonic Band Gap)구조를 이용한 고성능 안테나 기술 동향

광운대학교 전파공학과 박면주, 이병제

차 례

- I. 서 론
- II. 본 론
- III. 요약 및 결론

I. 서 론

최근 무선 통신 기술의 비약적인 발전은 안테나 분야에 있어서도 소형화, 다기능화, 고성능화 등 여러 면에서 현존하는 것보다 기술적으로 훨씬 더 진보된 제품을 요구하고 있다. 이와 같은 요구를 만족시키기 위해 각 응용분야별로 기존에 볼 수 없었던 새로운 안테나 구조들이 속속 등장하고 있으며, 최근에는 마이크로파 공학이나 광학 등 전자 관련 분야의 기술을 안테나에 접목시켜 안테나의 성능 향상을 도모하거나 새로운 안테나 구조 개발 등에 응용하는 연구도 활발히 이루어지고 있다.

광학 밴드 갭(Photonic Band Gap, PBG)[1] 구조도 그 이름이 의미하듯 원래 광학 분야에서 먼저 연구, 개발되어 레이저(laser), 광학 도파관(optical waveguide), 공동(optical cavity) 등의 다양한 분야에 적용되어 오던 기술이었으나 이를 초고주파 분야에 응용함으로써 초고주파 필터나, 마이크로파 수동 및 능동 회로의 특성을 개선하는데 있어서도 많은 효과를 거두고 있다[2]. PBG의 주요

특성은 주파수 대역에 따라 전자파를 차단, 혹은 반사시키는 효과로 요약할 수 있으며, 이는 안테나에서 전자파의 방사를 적절하게 제어함으로써 안테나의 여러 가지 특성들을 개선하는 데에도 크게 도움이 될 수 있다.

본고에서는 이와 같은 PBG 구조를 마이크로파 안테나 구조에 적용하였을 때 얻을 수 있는 효과와 그 응용분야, 그리고 이를 이용한 최근의 연구 성과 및 그 동향에 대해 살펴보기로 하겠다.

II. 본 론

PBG는 주기 구조의 일종으로서 전자파가 통과하는 매질의 유전율, 투자율 등 전기적 재질 특성이나 전자파 전송 구조상의 wave 임피던스가 일정한 간격을 두고 주기적으로 반복되는 구조를 가지고 있다. 주기구조의 전자기적 특성 중 가장 두드러진 것으로는 특정한 주파수 대역에서 전자파를 통과시키지 않는 저지 대역을 가진다는 점을 들 수 있다. 광학 응용에서 이와 같은 저지 대역을 밴드 갭(band gap)이

라고 부르며, 광학 밴드 갭(Photonic band gap, PBG)이라는 명칭도 이로부터 유래한다.

원래 광학 분야 응용에서는 유전율, 투자율 등에 의한 매질의 주기적인 굴절율 변화가 PBG현상을 나타내는 것에 주목하여 광학 결정상에 주기적으로 배치된 구멍 등을 이용하여 매질의 유전율을 변화시키는 방식으로 PBG특성을 구현하는 연구가 대부분이었다. 마이크로파 분야 응용에서는 이와 같은 방식 이외에도 주로 제작상의 편리 등을 고려하여 전송선로나 접지면 등의 도체 부분을 주기적으로 변형시킨 구조도 널리 사용되고 있으며, 이와 같은 구조들에 대해서는 매질의 특성변화가 아니라 전자파 전송 구조상에서 wave 임피던스의 주기적인 변화에 의해 PBG현상이 발생하는 것으로 알려져 있다(3).

마이크로파 분야에서 이용되는 PBG의 주요 특성으로는 주파수 대역별로 뚜렷하게 구분되는 저지(stop band) 및 통과 대역(pass band) 특성과 저지대역에서의 전자파 전반사(perfect reflection) 특성, 그리고 통과대역 내에서의 slow wave 전파 현상 및 위상지연 효과 등을 들 수 있으며, 이와 같은 PBG의 특성 들은 각종 필터 응용이나 회로 특성 개선 및 소형화 등에 널리 응용되고 있다(2).

다음에서 위와 같은 PBG의 전자기적 특성이 마이크로파 안테나 분야에 어떻게 적용되고 있는지를 몇 개의 응용분야로 나누어 좀 더 자세히 살펴보기로 하겠다.

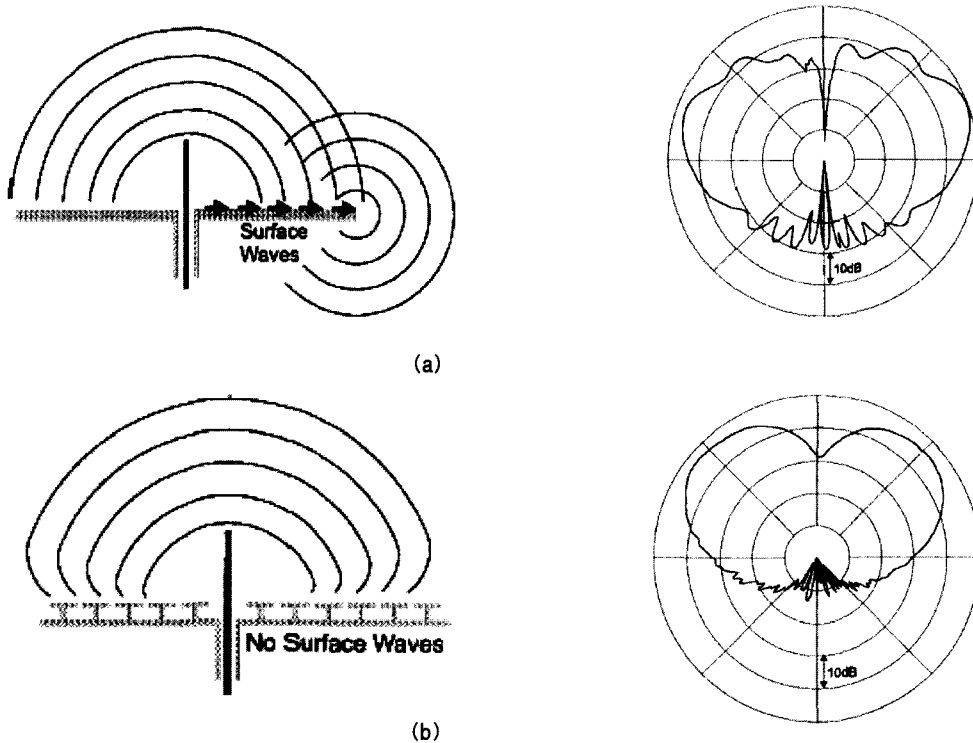


그림 1. 모노폴 안테나에서의 표면파 방사 효과 및 PBG 구조에 의한 표면파 억제(4)

- (a) 접지면에서의 표면파 발생 및 그 방사 패턴
- (b) PBG 접지면에 의한 표면파 억제와 그 방사 패턴

2.1 PBG 구조에 의한 안테나 표면파 억제 (surface wave suppression)

PBG구조가 그 저지대역에서 전자파의 전파를 효과적으로 차단할 수 있는 특성은 일부 안테나 구조에서 표면파와 관련된 문제를 해결하는데 효과적으로 이용될 수 있다.

마이크로 스트립 등 각종 평면형 패치 안테나나 모노폴 안테나 등 넓은 접지면면을 가지는 안테나 구조에서는 구조적인 특성상 안테나 동작과정에서 접지면 혹은 기판 표면을 따라 전파되는 불필요한 표면파가 발생하게 되며, 이 표면파는 방사 패턴이나 효율, 이득, 상호결합 등 안테나의 주요 특성들을 악화시키는 큰 단점의 하나로 지적되고 있다. 이런 경우 표면파가 전파되는 안테나 부위에 PBG 구조를 도입하고 안테나의 동작 주파수가 PBG구조의 저지 대역에 포함되도록 하면 안테나 표면을 따라 전파하는 전자파의 전송이 억제되므로 표면파의 발생을 효과적으로 차단할 수 있다. 이와 같이 안테나에 PBG 구조를 사용하여 표면파를 억제할 경우 안테나의 방사패턴 개선, 이득 증가, 입력 정합 특성 개선 등 다방면에서 큰 효과를 거둘 수 있는 것으로 알려져 있다[4-6].

그림 1은 안테나에서 표면파의 발생으로 인해 나타나는 방사패턴 악화 현상과 PBG 구조를 도입하여 이와 같은 단점을 개선할 수 있는 방법을 보여주는 예로서 유한한 접지면을 가지는 모노폴 안테나의 경우를 나타내고 있다[4]. 그림 1(a)에서 모노폴 안테나로 급전된 신호의 일부가 표면파로 전환되어 안테나의 접지면을 따라 전파되며 이는 결국 유한한 접지면 종단부에서 불필요한 회절 및 방사 현상을 일으켜 공간상으로 퍼져 나간다. 그 결과 그림 1(a)에 나타난 안테나의 방사 패턴에서 접지면 뒷면으로의 후방방사가 늘어나며 안테나 정면으로도 표면파 방사에 의한 간섭 때문에 패턴의 왜곡이 심하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 그러나 이와 동일한 상황에서 그림 1(b)와 같이 안테나의 접지면에 PBG 구조를 적용

하여 표면파의 전파를 억제하면 앞서와 같은 표면파에 의한 부작용을 감소시켜, 전체적으로 볼 때 이상적인 모노폴의 경우와 유사하게 훨씬 개선된 방사 패턴을 얻을 수 있다.

PBG구조를 사용하여 안테나의 표면파를 억제하였을 때 얻을 수 있는 다른 부수적인 효과들로는 안테나의 이득 및 입력 정합특성 개선 등이 있다. PBG 구조를 사용하여 표면파가 억제되면 일반적으로 안테나 정면(boresight)방향으로의 방사가 개선되고 표면파를 통해 빠져나가는 불필요한 전력 손실이 감소하므로 전체적으로 안테나의 이득이 증대되며, 입력 정합 특성도 개선되는 효과가 나타나는 것으로 알려져 있다.

Gonzalo[5]는 평면형 패치 안테나에서 기판에 주기적인 원형 구멍을 뚫어 PBG구조를 구현한 결과 기판을 따라 전파하는 표면파 억제 효과로 인해 앞의 경우와 유사하게 전체적인 방사패턴이 개선됨은 물론 안테나 정면 방향으로의 이득이 10dB정도 개선되는 효과를 거둔 것으로 보고하였다. Lee[6]는 역시 평면형 패치 안테나에서 패치와 동일한 기판 표면에 주기적인 도체 패턴을 배열하여 PBG구조를 구성하였다. 그 결과 안테나 방사패턴 개선 및 이득 향상은 물론 안테나의 입력 정합 특성도 그림 2에 나타난 것처럼 크게 개선되는 효과를 보여주었다.

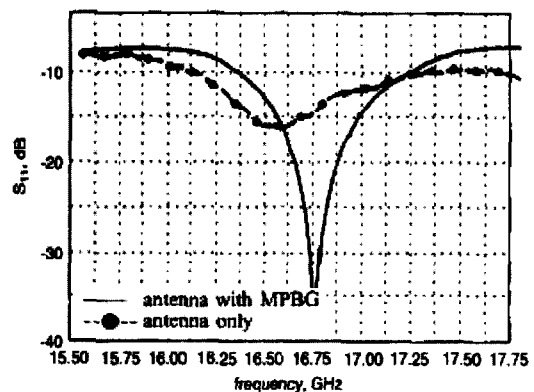


그림 2. PBG 구조에 의한 안테나 입력 정합 특성 개선[6]

2.2. PBG 전반사 표면 특성의 안테나 응용

PBG구조는 저지대역에서 전자파의 전파를 억제 하므로 PBG 구조 표면으로 입사되는 전자파는 PBG구조체 내부로 투과되지 못하고 전반사되는 특성을 나타낸다. 이와 같은 성질을 반사판 안테나나 안테나의 접지면에 응용함으로써 기존의 도체면을 반사체로 사용한 경우에서 볼 수 없는 새로운 특성을 가지는 안테나를 설계할 수 있다.

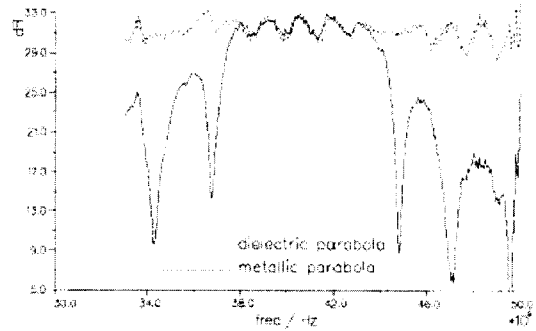
기존의 안테나에서 사용되는 도체 반사판 구조와 PBG현상을 이용한 반사판 구조와의 주된 차이는 그 주파수 특성과 반사 위상에서 나타난다. 도체 반사판의 경우 모든 주파수의 전자파에 대해 전반사 특성을 나타내며 특히 전기적으로 단락(short)되는 저임피던스 표면 특성으로 인해 반사되는 전자파의 위상이 입사파와 반대로 되는 위상 반전 현상이 나타난다. 이에 비해 PBG구조의 경우 특정한 주파수 대역에서만 선택적으로 전반사 특성을 나타내도록 그 반사 대역을 조절할 수 있으며, 전반사 특성을 나타내는 주파수 대역에서 그 표면 임피던스를 높게 설계함으로써 반사파의 위상이 반전되지 않는 동위상의 전반사 특성을 구현할 수 있는 특징이 있다.

이와 같은 PBG구조 표면에서의 전반사 특성은 반사판 안테나 설계에 직접적으로 이용될 수 있다. Thevenot[7,8]은 반사 안테나의 반사판으로 종래에 사용되던 도체 구조 대신 접시형 유전체를 일정간격을 두고 여러 층으로 쌓아올린 PBG구조를 사용하였다. 그 결과 사용된 PBG 구조의 저지대역 내에서 도체 반사판을 사용한 경우와 대등한 안테나 이득 특성을 얻을 수 있음을 입증하였다(그림3). PBG 반사판 안테나는 도체를 사용하지 않고 플라스틱 등 가공이 용이한 유전체만을 사용하여 저렴한 가격으로 제작할 수 있으며, 모든 주파수 대역의 전자파를 전반사하는 종래의 도체 반사판과는 달리 PBG의 특정 저지대역에서만 반사판으로 작용하고 다른 주파수 대역에서는 전자파를 반사하지 않는 주파수 선택성으로

인해 stealth 응용 등에서 보다 유리한 점이 있다.



(a)



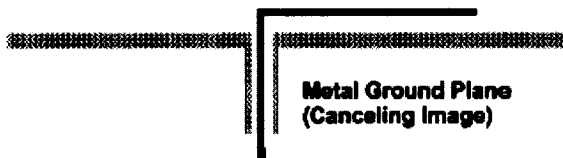
(b)

그림 3. 적층 PBG 구조를 이용한 반사파 안테나(7)

(a) 반사판 구조 (b) 이득 특성

한편 동위상 전반사 특성을 가지는 PBG구조를 안테나의 접지면으로 사용할 경우 높이가 매우 낮은 low profile 수평 안테나를 설계할 수 있다[4,9]. 일반적으로 도체 접지면을 사용하는 기존의 안테나에서는 이 도체 접지면에 평행하게 수평안테나가 근접하여 존재할 경우 접지면의 반대편에 주 안테나와 위상 반전된 영상 안테나가 생성된다. 따라서 도체 접지면에 의해 생성된 영상 안테나가 주 안테나와 근접한 위치에서 반대 위상의 전자파를 방사하므로 서로 상쇄간섭을 일으킨다. 그 결과 그림 4에서 보듯 전체 안테나 구조의 방사 효율이 크게 떨어지고 입력 정합 특성도 나빠져 안테나로서 사용이 곤란하다. 이때 접

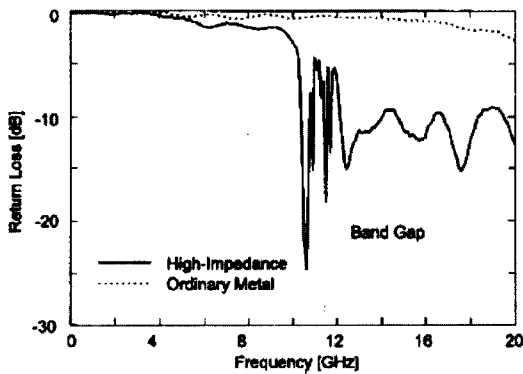
지면에 고임피던스의 동위상 전반사 특성을 나타내는 PBG 구조를 적용하면 이때 나타나는 영상 안테나는 주 안테나와 동일 위상을 가지게 되므로 주 안테나의 방사특성을 보강하는 작용을 하여 효율적인 안테나 구조로 작용하게 된다. 그림 4에서 접지면으로 사용된 PBG 구조가 고임피던스 표면특성을 나타내는 저지대역에서 안테나 입력 정합특성 및 방사 효율이 크게 개선되는 효과를 실제로 확인할 수 있다(4). 이와 같은 특성은 소형 low profile 특성이 요구되는 handset 안테나 등에 매우 유용하다.(9)



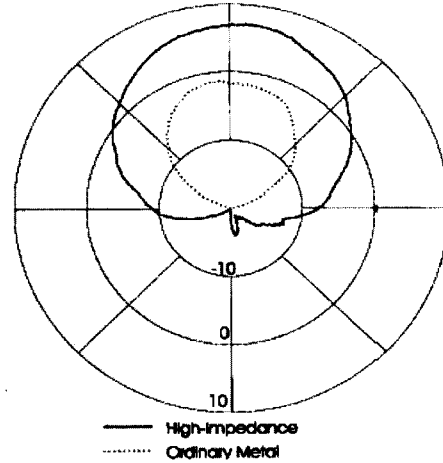
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 4. 접지면 위의 수평 안테나(4)

- (a) 도체 접지면 (b) 고임피던스 PBG 접지면
(c) 입력 정합 특성 (d) 방사 패턴

이와 비슷한 응용으로서는 안테나의 뒷면으로 방사되는 전력을 차단하여 안테나의 이득을 높이는 반사판 용도로 높은 표면 임피던스를 가지는 PBG 구조를 사용할 수 있다. 종래에 이와 같은 용도로는 도체 반사판이 주로 이용되었으나 이 경우 안테나와 반사판간의 간격을 1/4 파장 정도 떨어뜨려 도체판에 의한 반사와 위상 반전효과를 상쇄해야 하기 때문에 전체적으로 안테나의 높이가 증가하는 단점이 있다. 이와 같은 문제를 해결하는데 PBG구조를 효과적으로 이용할 수 있다. Liu(10)등은 유전체 기판위에 형성된 spiral 안테나에서 유전체 기판에 주기적인 구멍을 뚫어 PBG구조를 도입함으로써 안테나의 동작 대역폭, 이득이 개선되고 안테나 뒷면으로의 방사를 감소시킨 광대역, low profile 안테나를 구현하였다.

2.3. 능동 집적 안테나에의 PBG 구조 응용

능동 안테나 분야에서는 주로 quasi-optical

power combining용도의 증폭기(amplifier)나 혼합기(mixer), 발진기(oscillator) array등에서 광학 결정 등에 의한 PBG효과를 이용한 연구 결과가 발표되어 있다. 또한 PBG 구조를 이용하여 단면 모드 분포를 개선한 유사 TEM 모드 도파관이 quasi-optical power combining용도에 응용되고 있다. 이와 같은 Quasi-optical 분야의 응용에서는 PBG 구조의 주파수에 따른 필터링 및 반사 특성과 함께 입사파의 편파에 따른 선택적 투과 성질 등도 많이 이용되고 있다.

Higgins[11]등은 quasi-optical 증폭기 배열 안테나를 밀리미터파 대역에서의 power combining용도로 사용할 때 광학 결정을 chip carrier로 사용함으로써 이때 나타나는 PBG 효과를 이용하여 전체 배열의 성능을 개선할 수 있는 방법을 제안하였다. 이 연구에서 사용된 능동 배열 안테나는 수직으로 배열된 슬롯 안테나들을 통해 입력 신호를 받아 들여 이를 증폭기로 증폭한 후 그 출력 신호를 수평으로 배열된 슬롯 안테나들을 통해 외부로 방사하는 구조를 가지고 있다. 따라서 배열 안테나로 입사되는 입력신호는 수평편파, 그리고 안테나로부터 방사되는 출력 신호는 수직편파로 서로 다른 편파 특성을 가지게 된다.

이때 chip carrier로 사용된 광학 결정은

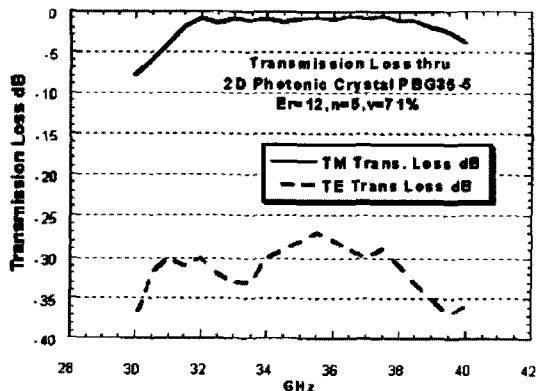


그림 5. PBG 광학결정의 편파 투과 특성(11)

honey-comb 형태의 2차원 주기 격자 구조를 가지는 유전체로서 그림 5에서 보듯 주어진 주파수 대역에서 수평편파(TMx)만을 통과시키고 수직편파(TEx)는 차단하는 편파 선택성을 가지고 있다.

그림 6에 PBG 광학 결정을 부착한 전체 안테나 구조와 그에 의한 방사 패턴 특성을 나타내었다. 먼저 광학 결정이 부착되지 않은 기존의 배열 안테나에서는 소자로 사용된 슬롯 안테나의 특성상 전체 배열의 앞면으로는 물론 뒷면으로도 상당한 크기의 전력이 방사되는 특성을 보인다. 이에 따라 증폭기 배열로부터의 출력 전력이 분산되어 전체적인 효율을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 증폭기에 의해 증폭된 큰 출력 신호가 입력쪽으로 되먹임 되는 문제가 발생한다. 그러나 그림 6에 제안된 광학 결정이 부착된 안테나 구조에서는 그림 5와 같은 광학 결정의 편파 선택성을 이용하여 이와 같은 문제점을 크게 감소시킬 수 있다. 즉 수평편파의 안테나 입력 신호는 광학결정을 그대로 투과하여 안테나로 무사히 전달되지만 수직 편파를 가지는 안테나 출력신호는 광학결정을 통과할 수 없으므로 그림 8에 나타낸 출력 방사 패턴에서 볼 수 있는 것처럼 안테나 입력 방향으로의 후방 방사특성을 크게 감소시켜주는 효과를 거둘 수 있다.

이와 유사한 응용으로서 Sun[12] 등은 C 밴드 발진기 그리드(Grid)에서 종래에 사용되던 도체 Mirror구조를 광학 결정으로 바꾸어 사용하였을 때 이에 의한 주파수, 편파 및 반사도 선택성 등의 PBG 효과에 의해 방사전력 증가, 불요 편파 (cross polarization) 감소, 그리고 locking 특성 향상 및 그에 의한 배열 소자간 동기화(synchronization) 특성 개선 등의 효과를 가져올 수 있음을 보였다. 이 밖에 quasi-optical self oscillating mixer array에서도 광학결정을 사용하여 이와 유사한 효과를 얻을 있는 것으로 알려져 있다[13].

quasi-optical power combining의 또 다른 방식에서는 증폭기 배열로의 입력 신호 공급이나 그 출력 전력을 결합하는데 도파관 구조를 많이 사용한

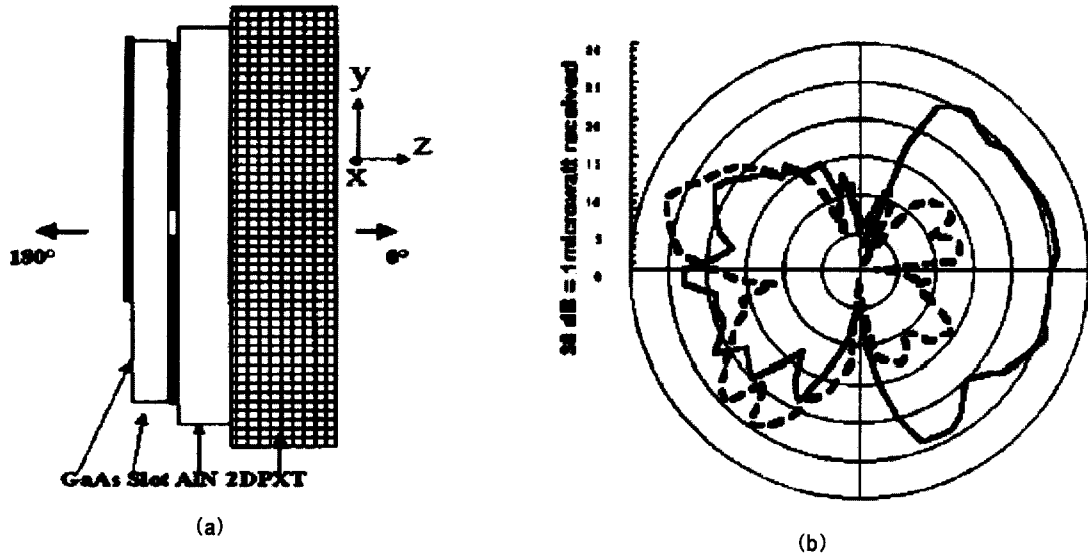


그림 6. 광학 결정이 부착된 Quasi-optical 전력 증폭기 배열 안테나 구조 및 그 방사 패턴(11)

다(11,14). 그 예로 앞에서와 같은 능동 배열 안테나를 도파관 혼의 입구에 부착시켜 사용하거나(11) 또는 전체 증폭기 배열을 도파관 내에 집어넣어 모든 전력 공급 및 결합 작업이 도파관 내에서 이루어지도록 하는 경우도 있다(14). 이 경우 안테나에의 입력 신호는 구형 도파관을 통해 급전되므로 안테나의 단면에 들어오는 전력 분포가 도파관의 기본 모드 분포와 같이 정현파(sinusoidal) 형태로 된다. 이럴 경우 배열 안테나의 가운데 부분에 위치한 소자의 경우 큰 입사전력에 의해 과구동(overdrive)되어 이득이 떨어지게 되며, 반대로 배열의 양 끝에 위치한 소자들의 경우에는 입력 전력이 0에 가깝게 되어 매우 비효율적이다. 이와 같은 안테나 단면 전력 분포의 불균형 현상은 입력과 출력에서 전체적으로 약 6dB 정도까지의 전력 손실을 발생시킬 수 있는 것으로 알려져 있다(11).

이와 같은 현상을 피하기 위해서는 안테나를 급전하는 도파관 단면의 전력분포를 최대한 균일하게 해주어야 한다. 도파관 측면벽을 종래의 도체 대신 높은 표면 임피던스를 가지는 물질로 대체함으로써 이

문제를 해결할 수 있으며 이런 목적으로 PBG 구조가 이용된다. 구형 도파관 벽에 고임피던스 표면 특성을 가지는 PBG구조를 사용하면 이 도파관 내에서는 평행판 도파관과 유사한 TEM 모드가 전파할 수 있으므로 기존의 TE 모드에 비해 매우 균일한 단면 필드 분포를 얻을 수 있으며(그림 7), 이는 quasi-

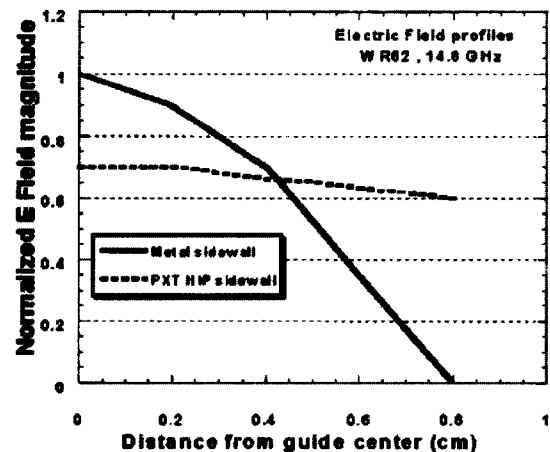


그림 7. 높은 표면 임피던스의 PBG 측면벽을 가지는 구형 도파관과 기존 도체벽 도파관의 단면 전자기 분포 비교(11)

optical power combining 응용에 효과적으로 사용된다[11,14].

2.4. 기타 안테나 분야에의 PBG 구조 응용

PBG구조는 특정 주파수 대역 내에서 전자파 전달을 억제하는 특성을 가지고 있으며 이와 같은 PBG의 저지대역 특성은 안테나에서 불요(spurious) 주파수 응답을 억제하는데 사용될 수 있다. 구체적인 응용분야로는 안테나의 고조파 응답(harmonic response) 억제[15,16], diplexer 안테나 등에서 port간의 isolation을 향상[17]시키는데 PBG 구조를 이용한 결과가 알려져 있다. 또한 안테나 위에 유전체 기판을 일정 간격으로 쌓아 주기적인 PBG superstrate 구조를 만들거나 유전체 기판 적층 PBG 구조로 Pebray-Perot 공진기 구조를 형성하고 그 안쪽에 안테나를 위치시키면 방향에 따른 공간적인 filtering 효과로 인해 매우 높은 방향성을 가지는 안테나를 얻을 수 있다[8,18]. 한편 PBG 구조의 slow wave 특성은 위상 배열 안테나 등에 이용된다[19].

일반적으로 많이 사용되는 공진형 안테나 구조에

서는 안테나의 특성상 원하는 주파수뿐 아니라 그의 고조파 대역에서도 기생 응답이 나타나게 된다. 능동 집적 안테나 등의 응용에서는 능동회로부의 효율을 높이는 등의 목적으로 이와 같은 불필요한 고조파 응답을 억제할 필요가 있다[16]. 이런 경우 안테나에 PBG 구조를 도입하여 고조파 주파수 부근에 저지대역이 생기도록 하면 이와 같은 기생 응답을 효과적으로 제거할 수 있다[15,16]. 그림 8에 나타낸 결과에서 마이크로스트립 안테나의 접지면에 PBG구조를 사용한 결과 고조파 대역에서 나타나는 기생 안테나 응답이 크게 감소 내지는 제거되는 효과가 나타남을 볼 수 있다[16].

뚜렷하게 구분되는 통과대역과 저지대역을 통한 PBG의 주파수 선택성은 diplexer 안테나에서 수신 송신 port간 isolation을 높이는 목적으로도 이용될 수 있다. Hao[17]는 직사각형 마이크로스트립 패치를 사용하여 서로 다른 공진 주파수를 가지는 수신/송신 diplexer 안테나 용도로 사용할 때 안테나와 급전선의 접지면에 PBG 구조를 사용함으로써 송수신 port간 간섭을 줄이고 isolation을 향상시킬 수 있음을 입증하였다.

그림 9는 PBG에 의한 전자파 필터링 특성을 이

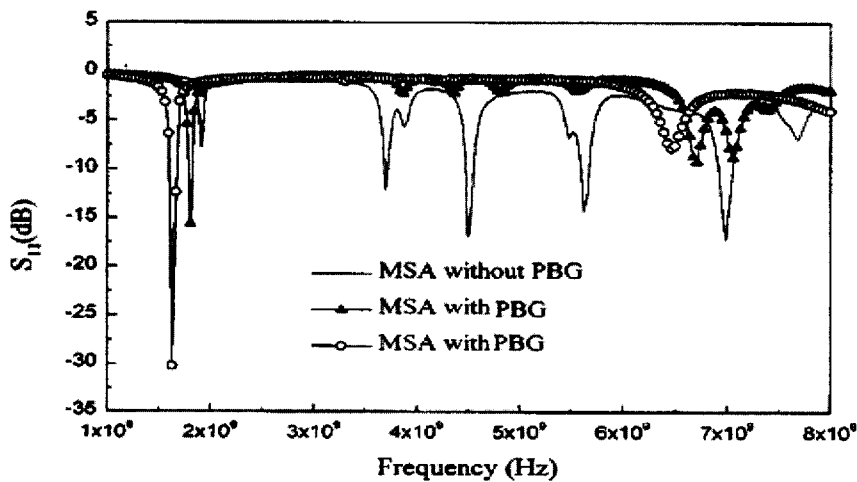


그림 8. PBG 구조에 의한 안테나의 고조파 응답 제거

용하여 안테나의 방향성을 크게 개선할 수 있는 PBG superstrate 안테나 구조를 보여 주고 있다. 이것은 안테나의 방사방향으로 일정 간격을 두고 유전체 판을 적층한 형태로서 1차원 PBG 구조로 생각할 수 있다(8).

안테나 접지면에 의한 영상효과를 고려하면 이 구조는 안테나를 사이에 두고 안테나의 위와 아래로 동일한 PBG 구조가 배치된 것으로 등가화할 수 있다. 안테나 위와 아래의 PBG 구조는 그 저지대역 내에서 전반사특성을 나타내므로 이는 전체적으로 공진기 양쪽에 mirror를 가지는 Fabry-Perot 공진기 구조와 유사한 형태를 가지게 된다(18). PBG 응용에서는 이와 같이 PBG의 주기 구조의 일부에서 규칙적인 주기를 벗어나는 일종의 defect 형태가 존재하면 그에 의한 효과로 PBG의 저지대역 내에서 매우

좁은 통과대역이 나타나게 되며 이와 같은 전자파 전송현상을 defect 모드라고 부른다.

안테나에서 이와 같은 superstrate PBG 구조의 간격과 유전율 등을 잘 설계하면 특정한 방향으로 defect모드 효과로 전자파의 투과가 잘 일어나지만 동일 주파수에서 이와 다른 방향으로의 저지대역이 되어 전자파 투과를 억제하는 일종의 공간적인 필터링 특성을 얻을 수 있다. 따라서 defect 모드 효과를 볼 수 있는 방향으로만 안테나의 방사 패턴이 집중되어 매우 높은 방향성을 가지게 된다. 그림 9에서 PBG superstrate가 있는 경우와 없는 경우의 안테나 방사 패턴을 비교해 보면 이와 같은 사실을 쉽게 확인할 수 있다.

PBG의 주요특징 중 하나로 slow wave특성을 들 수 있으며 이에 의한 위상 지연 효과는 위상 변위

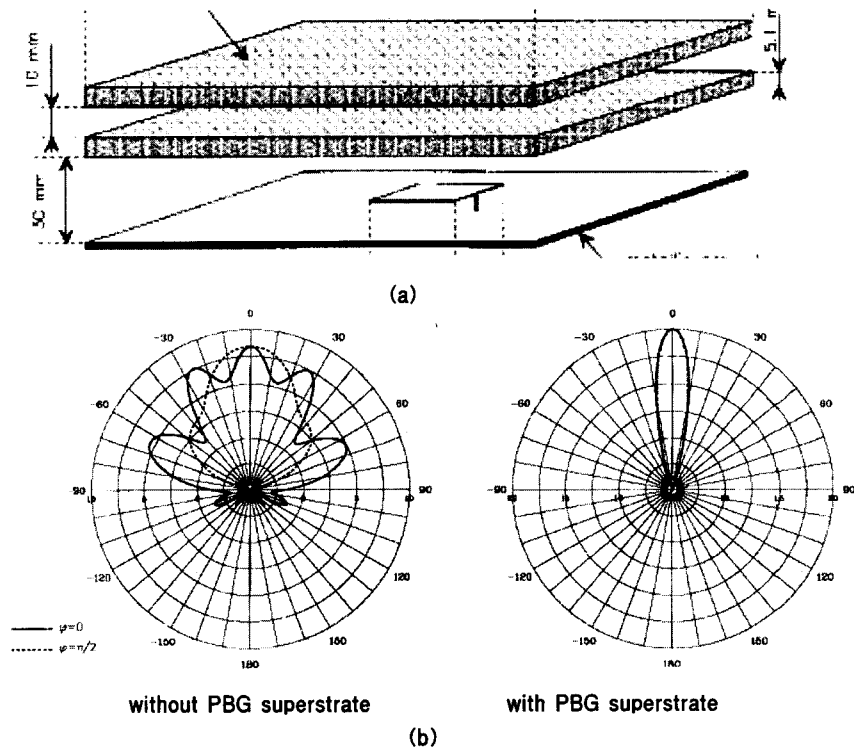
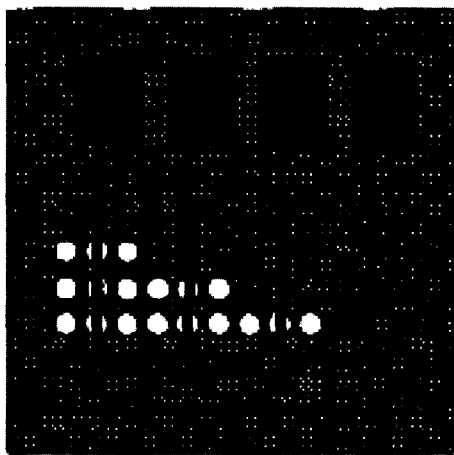


그림 9. PBG superstrate구조를 가지는 안테나(a) 및 그 방사 특성(b)(8)

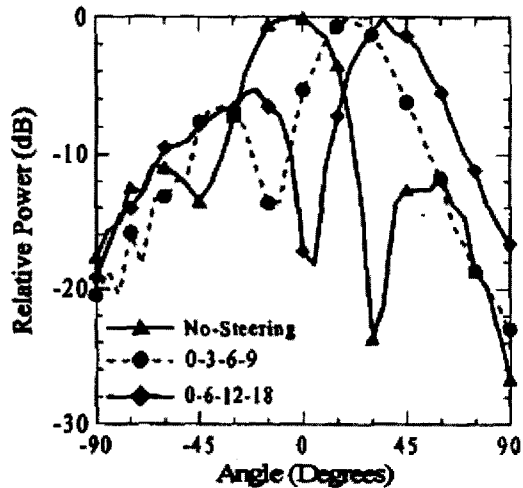
기 및 이를 이용한 위상 배열 안테나에 이용될 수 있다[19]. PBG구조의 위상지연 효과를 이용하는 전송선로 회로에서 위상 지연량은 사용된 PBG 단위 셀(cell)의 개수에 비례한다. 따라서 동일한 길이의 전송선로에서 PBG 단위 셀의 수를 조절하여 위상 지연량을 변화시킬 수 있다. 이와 같은 개념을 적용한 가변 위상 변위기와 이를 채용한 마이크로 스트립 위상배열 안테나 구조를 그림 10에 나타내었다. 이 그림에서는 안테나 급전선로의 접지면에 주기적으로 뚫린 구멍을 통해 PBG 구조를 구현하여 위상 변위기로 사용하였다. 기계적 혹은 전기적인 방식으로 접지면에 뚫린 구멍들을 단락(short)시키면 접지면에 남아 있는 PBG 셀 구멍의 개수에 따라 선형적인 위상 차이를 나타내므로 가변 위상 변위기로 동작할 수 있다. 이를 각 안테나에 부착하여 동작시키면 각 안테나 소자 간에 다양한 위상차를 가지는 위상 배열 안테나로서 안테나 빔 조향 등의 목적으로 사용할 수 있다.

III. 요약 및 결론

본고에서는 PBG 구조의 주파수 선택성, 반사특성, 편파 선택성 등 여러 가지 전자기적 특성을 마이크로파 안테나 분야의 성능 개선에 응용하는 방법과 이를 이용한 최근의 연구 동향에 대하여 살펴보았다. 본문에서 살펴본 것처럼 PBG 구조의 다양한 성질들은 기존의 안테나에서 제기되는 구조적, 전기적 특성을 개선하거나 새로운 특성을 가지는 안테나 연구에 광범위하게 응용되어 큰 효과를 거두고 있다. 그러나 지금까지 제안된 많은 PBG 구조들은 그 크기나 구조적 복잡성 등으로 인해 현실적인 응용에 있어 상당한 제약을 받고 있는 것 또한 사실이다. 이와 같은 단점을 극복할 수 있는 새로운 PBG 구조와 이를 안테나에서 활용할 수 있는 새로운 적용 분야를 찾는 것이 앞으로의 주요 연구 과제가 될 것으로 생각된다.



(a)



(b)

그림 10. 가변 PBG 위상변위기를 이용한 위상 배열 안테나[19]

(a) 안테나 구조

(B) 안테나 빔 조향(Beam steering)

참고 문헌

- [1] J. D. Joannopoulos, R. D. Meade, and J. N. Winn, *Photonic Crystals: Molding the Flow of Light*. Princeton, NJ: Princeton Univ. Press, 1995.
- [2] Mini-Special Issue on Electromagnetic Crystal Structures, Design, Synthesis, and Applications, *IEEE Microwave Theory Tech.*, vol. 47, pp.2057-2150, Nov. 1999.
- [3] C. Kee, J. Kim, H. Park, and H. Lim, "Roles of wave impedance and refractive index in photonic crystals with magnetic and dielectric properties," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, no. 11, pp. 2148-2150, Nov. 1999.
- [4] D. Sievenpiper, L. Zhang, R. F. J. Broas, N. G. Alexopolous, and E. Yablonovitch, "High-Impedance Electromagnetic Surfaces with a Forbidden Frequency Band," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, no. 11, pp. 2059-2074, Nov. 1999.
- [5] R. Gonzalo, P. de Maagt, and M. Sorolla, "Enhanced Patch-Antenna Performance by Suppressing Surface Waves Using Photonic-Bandgap Substrates," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, no. 11, pp. 2131-2138, Nov. 1999
- [6] Y. L. R. Lee, A. Chauraya, D. S. Lockyer and J.C. Vardaxoglou, "Dipole and triple metallodielectric photonic bandgap structures for microwave filter and antenna applications," *IEE Proc. Optoelectron.*, vol. 147, No. 6, pp.395-400, Dec. 2000.
- [7] M. Thevenot, A. Reineix, and B. Jecko, "A dielectric photonic parabolic reflector," *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 21, no. 6, pp. 411-414, June 1999.
- [8] M. Thevenot, C. Cheype, A. Reineix, and B. Jecko, "Directive Photonic-Bandgap Antennas," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, no. 11, pp. 2115-2122, Nov. 1999.
- [9] R. F. J. Broas, D. F. Sievenpiper, and E. Yablonovitch, "A high-impedance ground plane applied to a cellphone handset geometry," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 49, pp. 1262-1265, July 2001.
- [10] T. H. Liu, W. X. Zhang, M. Zhang, and K. F. Tsang, "Low profile spiral antenna with PBG substrate," *Electron. Lett.*, vol. 36 no.9 pp.779-780, Apr. 2000.
- [11] J. A. Higgins, M. Kim, J. B. Hacker, and D. Sievenpiper, "The Application of Photonic Crystals to Quasi-Optic Amplifiers" *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, no. 11, pp. 2139-2143, Nov. 1999.
- [12] Q. Sun, J. B. Horiuchi, S. R. Haynes, K. W. Miyashiro, and W. A. Shiroma, "Grid oscillators with selective-feedback mirrors," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 46, no. 12, pp. 2324-2329, Dec. 1998.
- [13] B. Elamran, K. Y. Sung, D. M. K.

- Ah Yo, K. S. Ching, and W. A. Shiroma, "A Three-Dimensional Quasi-Optical Self-Oscillating Mixer," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 47, no. 11, pp. 2144-2147, Nov. 1999.
- [14] M. Belaid and K. Wu, "Quasioptical power amplifier using TEM waveguide concept," IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., vol. 3, pp. 1835-1838, May 2001.
- [15] Y. Horii and M. Tsutsumi, "Harmonic control by photonic bandgap on microstrip patch antenna," IEEE Microwave Guided Wave Lett., vol. 9, pp. 13-15, Jan. 1999.
- [16] T. Kim and C. Seo, "A Novel Photonic Bandgap Structure for Low-Pass Filter of Wide Stopband," IEEE Microwave Guided Wave Lett., vol. 10, no. 1, pp.13-15, Jan. 2000.
- [17] Y. Hao and C. G. Parini, "Isolation enhancement of PBG Microstrip Diplexer Patch Antenna," IEE 11th Int. Conf. on Antennas and Propagation, pp.17-20, Apr. 2001.
- [18] T. Akalin, J. Danglot, O. Vanbesien, and D. Lippens, "A Highly Directive Dipole Antenna Embedded in a Fabry-Perot Type Cavity," IEEE Microwave Guided Wave Lett., vol. 12, no. 2, pp.48-50, Feb. 2002.
- [19] B. Elamaram, I. Chio, L. Chen, J. Chiao, "A Beam-Steerer using Reconfigurable PBG Ground Plane," IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., pp.835-838, June 2000.



박면주

1991년 2월 : 서울대학교 전자공학과(공학사)
 1993년 2월 : 서울대학교 전자공학과(공학석사)
 1998년 2월 : 서울대학교 전기공학부(공학박사)
 1998년 12월~2002년 8

월 : 삼성전자(주) 책임연구원 2002년 9월~현재 : 광운대학교 전자공학부 전파공학과 조교수
 주관심분야 : 초고주파 수동 회로 및 안테나, 전자파, 초고주파 수치해석, high speed digital system noise, signal integrity and interconnections, EMI/EMC



이병제

1988년 2월: 경북대학교 전자공학과(공학사)
 1994년 5월: Southern Illinois University at Carbondale(공학석사)
 1997년 5월: Southern Illinois University at

Carbondale(공학박사) 1997년 6월 ~ 1998년 2월: 삼성전자 정보통신연구소 선임연구원 1998년 3월 ~ 현재: 광운대학교 전자공학부 전파공학과 조교수
 주 관심분야 : 초고주파 및 밀리미터파 안테나 해석 및 설계, 전기자기파 해석, 레이더 및 위성통신, RF 능동 및 수동소자