

# PBG 구조를 이용한 전력 증폭기의 효율 및 선형성 개선에 관한 연구

## A Study on the Improvement of Efficiency and Linearity of Power Amplifier using PBG Structure

김 병 희 · 박 천 석

Byung-Hee Kim · Cheon-Seok Park

### 요 약

본 논문에서는 마이크로스트립 선로상의 금속부분을 일부 제거한 형태의 Photonic bandgap (PBG) 구조의 특성을 분석하고 형태를 최적화 한 후 전력 증폭기에 적용하여 고조파 동조를 수행하였다. 이 구조는 제작 및 접지에서 타 구조에 비해 유리하다. PCB 제작 과정의 오차를 줄이기 위해 단위 격자의 크기를 수직방향으로 증가시키고, 테이퍼 선로를 이용하여 입출력을  $50\ \Omega$ 으로 유지시켰다. EM 시뮬레이션으로 PBG 구조의 특성을 분석하고 설계하였으며, 최종적으로 통과대역 손실  $0.3\sim0.4\ dB$ , 저지대역폭  $6\sim7\ GHz$ 의 특성을 얻었다. 전력 증폭기에 PBG 구조를 적용한 후 출력 전력은  $0.72\sim0.99\ dB$ , PAE는  $1.14\sim7.8\ %$ , 3차 IMD는  $1\ dBc$  증가하는 결과를 얻을 수 있었다.

### Abstract

In this paper, microstrip photonic bandgap (PBG) structure with special perforation patterns etched on the line itself is analyzed and optimized in shape, then used for harmonic tuning of power amplifier. This PBG has an advantage in being fabricated and grounded. The dimension of unit lattice is enlarged vertically, but its input and output line maintain  $50\ \Omega$  using tapered line. This modification from original structure can lessen possible error in etching PCB. The analysis and design of PBG structure are acquired from using EM simulation. The measured insertion loss of the final structure is  $0.3\sim0.4\ dB$ , and its bandwidth of stopband is  $6\sim7\ GHz$ . Measured results of improved characteristics by using PBG structure at the output of the power amplifier are  $0.72\sim0.99\ dB$  in output power,  $1.14\sim7.8\ %$  in PAE, and  $1\ dBc$  in the third IMD.

Key words : PBG, Photonic bandgap, 전력 증폭기, 고조파 동조.

### I. 서 론

광학 분야에서 처음으로 연구가 시작된 PBG (Photonic Bandgap) 구조는 극래에 마이크로파 및 밀리미터파 대역에서의 응용을 위한 활발한 연구가 진행 중이다<sup>[1]</sup>.

PBG 구조는 전파지연 및 대역저지 특성을 갖는 주기적인 구조로서 구현방법으로는 유전체 기판에 주기적으로 일정한 모양의 구멍을 뚫는 방식, 접지면에 주기적으로 일정한 모양을 치각하는 방식, 그리고 가장 최근에 제안된 마이크로스트립 선로 상에서 선로의 폭을 변화시켜 구현하는 방식 등이 있

성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부(School of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University)

· 논문 번호 : 20010918-128  
· 수정완료일자 : 2001년 11월 16일

다<sup>[1]~[3]</sup>. 접지면 식각법과 마이크로스트립 선로 상에서 구현하는 방식은 고주파용 부품을 제작하는데 널리 사용되는 마이크로스트립 형식의 기판으로 구현이 용이한 장점이 있다<sup>[2][3]</sup>. 이러한 장점으로 인해 접지면 식각법으로 구현한 PBG 구조는 전파지연 전송선, 대역통과 여파기의 스팍리어스 제거, 안테나의 이득향상 및 복사페턴 개선, 전력 증폭기의 효율과 출력전력 증가 등에 다양하게 이용되고 있다<sup>[4]~[8]</sup>.

## II. PBG 구조를 이용한 고조파 동조

고조파 동조는 드레인 전류 파형의 고조파 성분을 제거하여 정현파 형태의 출력 전압을 얻으므로 전력 증폭기의 효율과 출력전력을 증대시키는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 전력 증폭기의 출력단에 고조파에서 단락 혹은 개방회로로 동작하는 동조회로를 삽입한다. 동조회로는 주로 간단한 단락 혹은 개방 스터브를 사용하여 구현하며, 대부분 바이어스 회로를 겹하여 매우 큰 임피던스를 갖는 4분의 1 파장 단락 스터브로 구성하여, 2차 고조파에 대한 단락회로를 형성한다<sup>[9]</sup>. 2차 고조파에 대한 동조는 주로 효율과 출력전력 향상을 위해 사용되거나 전력 증폭기의 선형성을 향상시키기 위해서도 사용될 수 있는데 기존 시뮬레이션 및 실험 결과에 의하면 전력 증폭기의 선형성은 2차 고조파에 강하게 영향을 받으며, 3차 고조파에 대해서는 약하게 영향을 받는 것으로 확인이 되었다. 왜곡을 최소화하기 위해서는 2차 고조파에 대해서는 단락, 3차 고조파에 대해서는 개방회로로 동작하도록 동조회로를 제작해야 하는데 이 결과는 F급 전력 증폭기의 출력 회로 요구사항과 동일하다. 4차 이상의 고차 고조파 동조는 출력 전력, 효율 및 선형성에 2, 3차 고조파에 비해 미약한 영향을 미친다<sup>[10]</sup>.

PBG 구조를 이용하여 고조파 동조를 할 경우 스터브나 여파 회로보다 광대역의 저지대역을 가지므로 2차 이상의 고조파를 하나의 회로로 동조할 수 있는 장점이 있다<sup>[6]</sup>.

PBG 구조를 이용한 고조파 동조에서 중요한 PBG 구조의 특성은 저지대역의 폭과 깊이, 그리고 통과대역의 삽입 손실이다. 현재 주류를 이루고 있는 접

지면 식각법을 이용한 기본적인 PBG 구조의 경우 PBG 단위 격자의 크기와 주기 횟수를 늘리면 저지대역의 특성은 좋아지나 통과대역에서 삽입 손실이 증가하는 문제점이 있다. 그러므로 적은 삽입 손실을 가지면서도 우수한 저지대역 특성을 가지는 PBG 구조를 구하는 것이 관건이다. 그럼, 먼저 접지면 식각법을 이용한 기본적인 PBG 구조를 이용하여 넓은 저지대역을 얻는 방법에 관하여 알아보자.

넓은 저지대역을 얻기 위해 쉽게 생각할 수 있는 방법은 서로 다른 차단 주파수를 갖는 각각의 PBG 구조를 직렬로 연결하여 통합적인 PBG 구조를 형성하는 것이다. 이 방법은 넓은 저지대역을 얻을 수 있으나 요구되는 기판의 크기가 커지므로 다른 회로와의 조합에서 불리한 특성이 있다. 반면에 서로 다른 차단 주파수의 PBG 구조를 신호 전송선 양옆으로 배열하게 되면 이와 같은 크기의 증가를 줄일 수 있다. 기타 방법으로 격자간의 주기를 일정하게 변화시켜서 저지대역을 넓힐 수 있는데, 이 방법은 원하는 저지대역의 중심주파수를 갖는 주기를 기준으로 일정한 비율로 증가 혹은 감소하는 주기를 갖도록 단위 격자를 배열하는 것이다. 이러한 방법들의 공통점은 저지대역의 폭과 깊이가 통과대역의 평

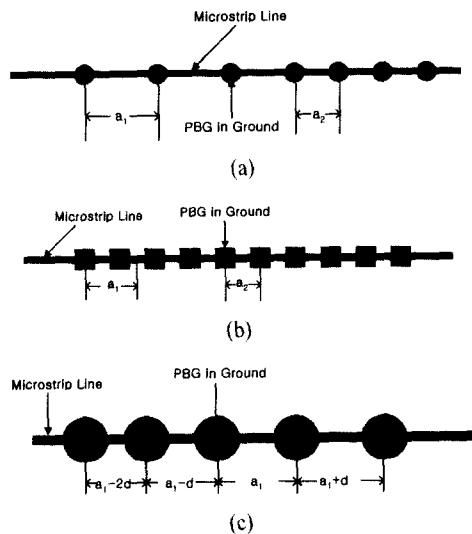


그림 1. 넓은 저지대역을 얻기 위한 기본적인 PBG 구조의 변형

Fig. 1. Modifications of basic PBG structure for wide stopband.

탄도 및 삽입손실 정도와 상호결충 관계를 보인다 점이다<sup>[11]-[13]</sup>.

그림 1은 접지면에 단위 격자를 식각하는 기본적인 PBG 구조를 응용하여 저지대역을 넓히는 방법을 분류해 놓은 것이다.

PBG 구조와 유사하지만 접지면에 단지 몇 개의 식각된 패턴만으로 PBG 구조가 갖는 특성을 나타낼 수 있는 DGS(Defected ground structure) 구조를 사용할 수 있다<sup>[14]</sup>. 이 경우, 원하는 저지대역을 얻기 위한 전체 구조의 길이가 짧아지므로 삽입 손실이 감소할 것이라는 추측이 가능하다.

실제로 전력증폭기의 출력단에 PBG나 DGS 구조를 적용하여 고조파 동조를 할 때 제작 및 접지의 용이성도 고려해야 할 요소이다. 그런데, 지금까지 논의한 접지면을 식각한 방법은 보통의 회로제작 방법과 달리 기판 양면을 식각해야 하고, 기구물을 제작하여 회로의 접지면을 기구물에 고정시킬 때 접지면에 식각된 부분을 특별히 고려해야 하는 문제가 발생한다. 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 기존에 제시된 PBG 구조를 형성하는 방법 중 접지면이 아닌 마이크로스트립 선로상에 PBG 구조를 설계하는 방법을 사용하여 고조파 동조를 수행하였다.

### III. PBG 구조의 설계 및 제작

전송선 이론에 의하면 무손실 전송선로의 전파상수( $\beta$ )는 식(1)과 같다.

$$\beta = \omega_0 \sqrt{LC}, \quad (1)$$

여기서,  $\omega_0$ 는 각 주파수,  $L$ 과  $C$ 는 전송선로의 단위길이당 인덕턴스와 캐패시턴스를 나타낸다. 식 (1)로부터 전파지연 특성은 전송선의 인덕턴스와 캐패시턴스 성분을 증가시켜서 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다. 만약 인덕턴스와 캐패시턴스 성분의 값이 연속적이 아닌 주기적으로 증가한다면 전송선은 PBG 구조를 형성할 수 있다<sup>[3]</sup>.

그림 2는 기존에 제안된 PBG 구조의 한 단위 격자를 나타낸 그림이다.

단위 격자는 기본적으로 마이크로스트립 선로 상의 금속부분을 일부 제거한 구조이다. 격자 구조 내

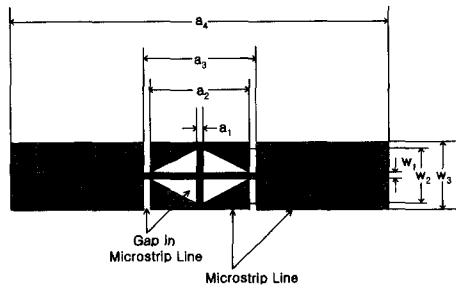


그림 2. 전송선로 일부를 식각한 PBG 단위 격자  
Fig. 2. PBG unit lattice etched on the transmission line.

에서 가는 연결 선로( $w_1, a_1$ )는 인덕턴스 성분의 증가를 가져오는 반면에 선로에서 금속이 없는 틈새 부분은 선로의 캐패시턴스 성분을 증가시킨다.

그림 3은 그림 2의 단위 격자에 대한 L-C 등가회로이다<sup>[3]</sup>.

그림 3에서 인덕턴스 성분  $L_0$ 과  $L_1$ 은 각각 수직, 수평으로 연결된 가는 마이크로스트립 선로에 해당하고, 캐패시턴스 성분  $C_0$ 는 삼각형 모양의 패치 성분의 캐패시턴스, 캐패시턴스 성분  $C_1$ 은 삼각형 패치와 마이크로스트립 선로 사이의 간격에 의한 캐패시턴스를 나타낸다.

단위 격자의 형태와 반복 주기를 조절함으로써 원하는 전파지연 효과와 대역저지 특성을 얻을 수 있다.

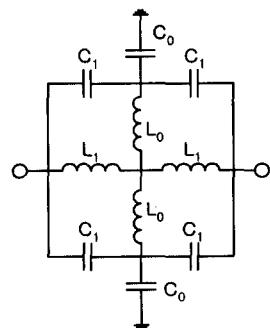


그림 3. 그림 2의 PBG 단위 격자에 대한 L-C 등가회로  
Fig. 3. L-C equivalent circuit for PBG unit lattice of Fig. 2.

그림 2의 구조를 적용하여 회로를 제작할 때 문제점은 사용할 기판에 따라  $50 \Omega$  마이크로스트립 선로의 너비가 매우 가는 경우 기판을 식각하는 과정에서 선로의 너비와 선로사이의 간격이 일정하게 유지되지 않고 모양이 흐트러져 특성이 예측한 대로 나오지 않게 된다는 점이다. 또한, 선로상의 식각된 패턴의 대역저지 효과가 미약하여 원하는 대역저지 특성을 얻기 위한 전체 길이가 길어지는 문제점이 생긴다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 그림 2의 선로 상에 위치한 삼각형 모양의 식각된 부분의 크기를 수직 방향으로 증가시키고, 테이퍼 선로를 이용하여 입출력 선로의 너비를  $50 \Omega$ 의 선로 너비로 유지시켰다.

그림 4는 그림 2를 변형시킨 구조이다. 그림 4에서 양단은 고정된 길이의  $50 \Omega$  선로로 구성하고,  $t$ 는 테이퍼 선로,  $e$ 는 단위 격자 중 식각된 부분을 제외한 나머지의 절반에 해당하는 길이로서  $t$ 와  $e$ 는 저지대역 및 통과대역 특성을 미세하게 조정하기 위한 용도로 사용될 수 있다.

특정 주파수 대역의 저지특성을 결정하는 주요 요소인 마이크로스트립 선로의 인덕턴스와 캐패시턴스 조절을 위하여 단위 격자내의 식각된 부분의 치수를 적절히 설정하는 것이 중요하다.

그림 5는 그림 4에서 단위 격자내의 식각된 부분에 대한 각각의 치수를 정의한 그림이다.

EM 시뮬레이션을 사용하여 단위 격자내의 각 치수를 조절하여 목표한 주파수 대역에서 원하는 특성을 얻도록 한다.

본 논문에서 목표한 주파수 대역은 IMT-2000 대역으로 통과대역은 2.11~2.17 GHz, 저지대역은 4.22

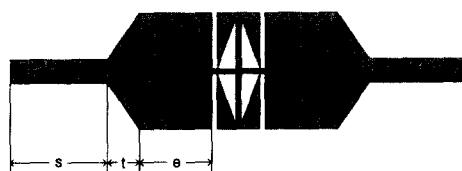


그림 4. 그림 2의 변형된 구조

Fig. 4. Modified structure of Fig. 2.

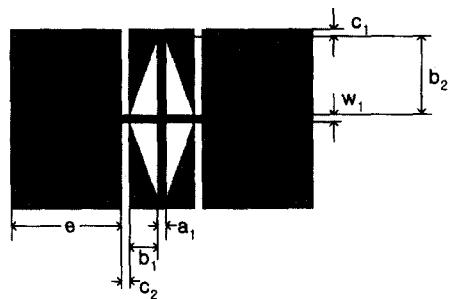


그림 5. PBG 단위 격자 내의 기본구조

Fig. 5. Basic structure in PBG unit lattice.

$\sim 10.85$  GHz(2~5차 고조파 대역)로 설정하였다.

먼저 그림 4, 5에서 논의한 변수 중 주파수 미세조정과 관련된 테이퍼 선로 길이  $t$ 와 단위 격자 연결부  $e$ 는 임의의 값 ( $t = 4$  mm,  $e = 2.4$  mm)으로 고정하였다. 또한,  $a_1$ ,  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $w_1$ 의 식각된 패턴간의 틈새와 선로의 폭도 동일한 값(0.4 mm)을 유지하였다.

그림 6과 7은 그림 5의 단위 격자구조에서  $b_2$ 와  $b_1$ 을 고정시키고,  $b_1$ ,  $b_2$ 를 변화시켜 그에 따른 출력특성을 본 것이다.  $S_{21}$ 의 변화양상은  $b_1$ ,  $b_2$ 가 길어짐에 따라 차단주파수가 낮아지고 저지대역이 좁아지는 특성을 보이는데  $b_2$ 의 변화에 따른  $S_{21}$ 의 변화가  $b_1$ 의 변화에 의한 것보다 더 급격함을 알 수 있다.

그림 6과 7로부터 원하는 저지 대역을 만족하는  $b_1$ ,  $b_2$ 값을 얻을 수 있는데, 그림 5의  $b_1$ 이 1 mm일 때 저지대역이 가장 넓으나,  $b_1$ 이 1~2 mm 사이에서

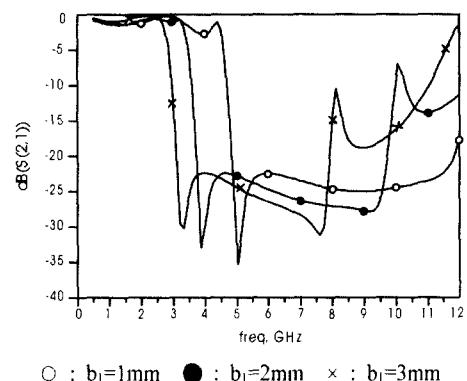


그림 6.  $b_1$ 의 변화에 따른  $S_{21}$ 의 변화 (시뮬레이션)

Fig. 6. Variations of the  $S_{21}$  according to  $b_1$ (simulation).

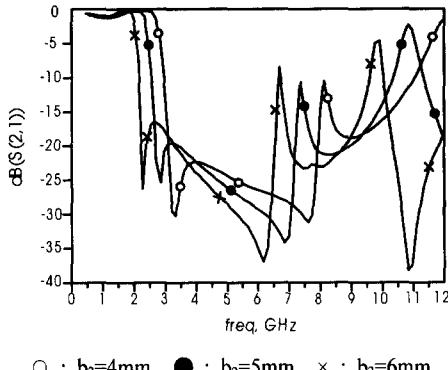


그림 7.  $b_2$ 의 변화에 따른  $S_{21}$ 의 변화 (시뮬레이션)  
Fig. 7. Variations of the  $S_{21}$  according to  $b_2$  (simulation).

적당한 것을 알 수 있다. 2~5차 고조파 대역에서  $-20\text{ dB}$  미만의  $S_{21}$  특성을 얻을 수 있는  $b_1, b_2$ 값을 1.45, 4 mm로 선택하였는데 비율은 1 : 2.7~2.8이다.

원하는 저지대역 특성은 만족시켰지만 통과대역에서의 손실이 0.5~0.6 dB 정도인데, 격자를 직렬로 2개 이상 연결할 경우 1 dB 이상의 손실이 예상된다. 그러므로 단위 격자내의 기본 구조를 제외한 기타 요소를 미세 조정하여 삽입 손실을 줄이고, 그로 인한 저지대역의 대역폭 감소는 단위 격자를 직렬로 연결하여 보충하도록 한다.

$t$ 와  $e$ 의 길이가 늘어날수록 최저 삽입 손실을 갖는 주파수 대역이 낮은 주파수로 이동하고, 저지대역폭은 높은 주파수에서 줄어들게 된다. 이로부터 최적의 테이퍼 선로 길이와 단위 격자 연결부의 길이를 얻을 수 있는데 각각 2.5 mm, 5.6 mm인 경우의 삽입 손실이 0.2 dB로 가장 적고, 반사손실도  $-20\text{ dB}$  이하로 나타나 우수한 전달 특성을 보여준다. 그러나, 이 경우 저지대역의 감소로 인해 5차 고조파에서의  $S_{21}$ 이 증가한다.

그림 8은 시뮬레이션을 사용하여 단위 격자의 차수를 최적화 시킨 결과이다.

그림 9는 그림 8의 단위 격자에 대한 입력 임피던스를 시뮬레이션을 통해 얻은 결과이다. 저지 대역에 포함된 2차~4차 고조파 입력 임피던스가 0에 매우 가까움을 알 수 있다. 이로부터 기준에 사용되

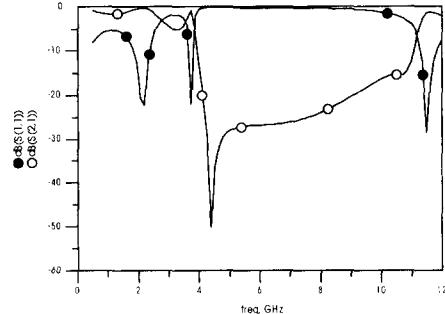


그림 8. 단위 격자의 산란계수 시뮬레이션  
Fig. 8. Simulated S-parameters of unit lattice.

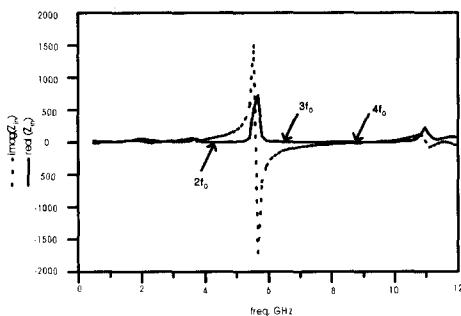


그림 9. 격자 하나의 입력 임피던스  
Fig. 9. Input impedance of unit lattice.

던 4분의 1파장 단락 스터브를 사용한 것과 동일한 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

저지대역의 감소문제는 격자를 2개 사용하여 해결하였다. 그림 10과 11은 단위 격자 2개에 대한 시뮬레이션 및 실제 측정결과이다.

그림 10과 11을 보면 모두 통과대역 손실이 0.3~0.4 dB이고, 2차에서 5차 고조파까지 저지대역이 형성되어 있다.

시뮬레이션은 Ansoft Ensemble (구조 분석 및 설계)과 HP ADS (입력 임피던스)를 사용하였고, 측정은 HP 8722D Network Analyzer를 사용하였다. PBG 구조를 제작하기 위해 사용한 기판은 상대 유전율 3.2, 기판두께 31 mil, Loss tangent 0.0017인 TACONIC사의 TLC-32이다.

PBG 구조를 시뮬레이션할 때 무한접지면 구조로 설정하고 실행하였는데 이로 인한 측정치와의 오차를 줄이기 위해서 제작하는 기판의 너비를 선로보

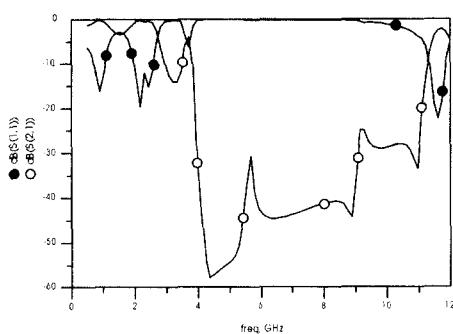


그림 10. 격자 2개의 산란계수 시뮬레이션  
Fig. 10. Simulated S-parameters of two lattices.

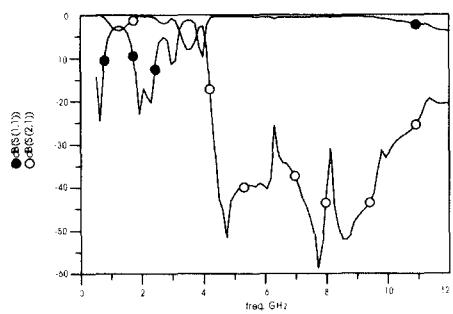


그림 11. 격자 2개의 반사 및 전달특성 (측정)  
Fig. 11. Reflection and transmission characteristics of two PBG lattices (measurement).

다 6배 이상으로 제작하였다. 그 결과 시뮬레이션과 실제 측정치를 비교해보면 저지대역의 차단 특성이 실제 측정에서 조금 완만해질 뿐 통과대역과 저지 대역의 경향성은 큰 차이가 없었다.

#### IV. PBG 구조의 성능 실험

PBG 구조를 전력 증폭기에 적용하여 효율 및 선형성의 향상 여부를 확인하기 위하여 그림 12와 같은 실험 측정 세트를 사용하였다.

실험에 사용한 전력 증폭기는 MOTOROLA사의 MHL21336으로 입출력 임피던스가 내부에서 정합된 MMIC 형태의 것을 사용하였으며, 동작 전원은 DC27V, 0.5A이다.

제작한 PBG 구조가 2.11~2.17 GHz의 통과대역에서 0.3~0.4 dB의 손실을 갖는다는 점을 감안하여

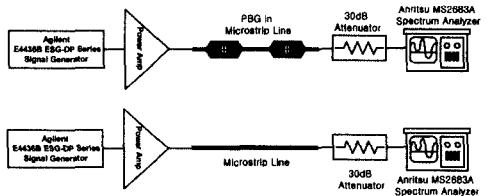


그림 12. 실험 측정 세트  
Fig. 12. Measurement set for experiment.

순수하게 PBG 구조로 인한 효율 및 선형성의 향상 효과를 보기 위해서 같은 통과대역 손실을 갖는 마이크로스트립 선로를 제작하여 PBG 구조를 적용한 경우와 출력전력, PAE(Power Added Efficiency), 고조파출력, IMD(Intermodulation distortion)특성을 비교하였다.

그림 13은 중심 주파수 2.14 GHz에서 입력전력에 따른 출력전력을 PBG 구조를 적용하지 않은 경우(▲)와 적용한 경우(▼)로 나누어 나타내었다. 그림 14는 출력전력의 증가량을 입력전력에 따라 나타내었는데, 입력전력 8 dBm에서 증가량이 최대이고, 더 큰 입력에서는 감소한다.

그림 15는 중심주파수 2.14GHz에서 입력전력에 따른 PAE 측정결과이다. 높은 입력에서 PAE의 증가가 두드러짐을 알 수 있다. 그림 16은 PAE의 증가량을 나타내었는데, 출력전력과는 달리 최대 입력에서 최대 증가를 보인다.

PAE는 식 (2)를 사용하여 구할 수 있다.

$$PAE = \frac{P_{out} - P_{in}}{P_{DC}}, \quad (2)$$

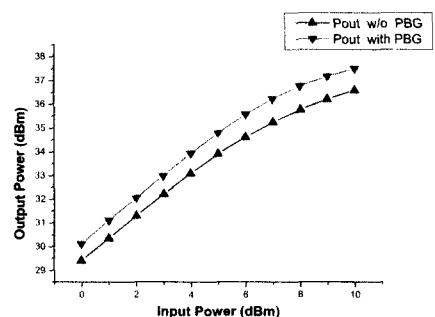


그림 13. 전력증폭기의 출력전력  
Fig. 13. Output power of power amplifier.

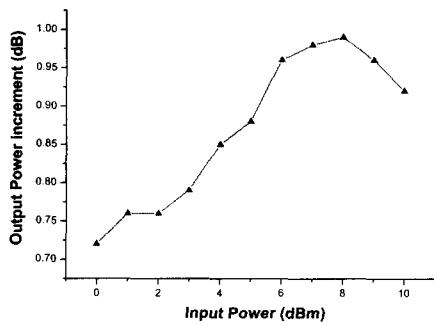


그림 14. PBG 구조로 인한 출력전력 증가량  
Fig. 14. Output power increment due to PBG structure.

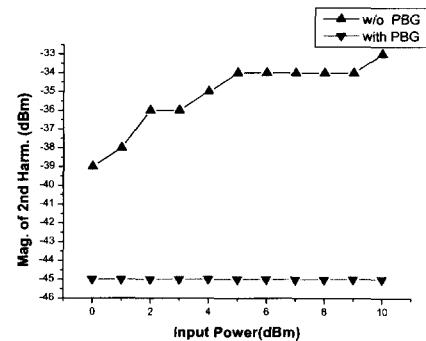


그림 17. 전력증폭기의 2차 고조파 측정  
Fig. 17. Measured 2nd harmonic of power amplifier.

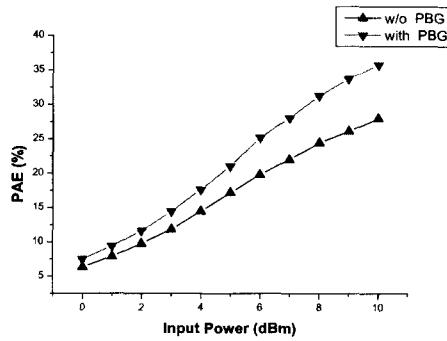


그림 15. 전력증폭기의 PAE  
Fig. 15. PAE of power amplifier.

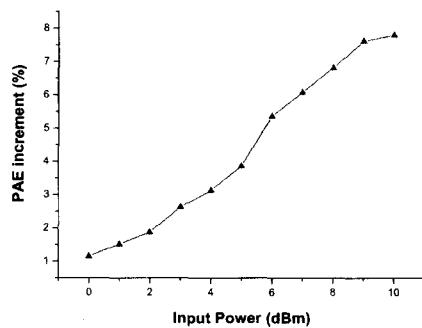


그림 16. PBG 구조로 인한 PAE 증가량  
Fig. 16. PAE increment due to PBG structure.

여기서,  $P_{out}$ 은 출력전력,  $P_{in}$ 은 입력전력,  $P_{DC}$ 는 직류전력을 나타낸다.

그림 17, 18은 PBG 구조를 적용하지 않은 경우 (▲)와 적용한 경우(▼)에 각각 2차와 3차 고조파 출력을 측정한 결과이다. 4차와 5차 고조파는 사용한

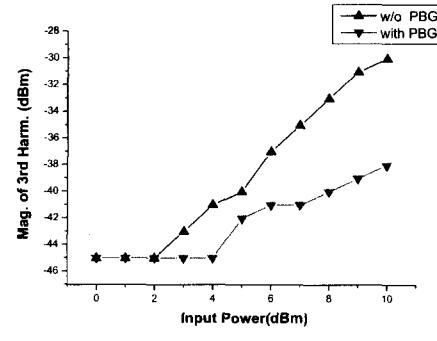


그림 18. 전력증폭기의 3차 고조파 측정  
Fig. 18. Measured 3rd harmonic of power amplifier.

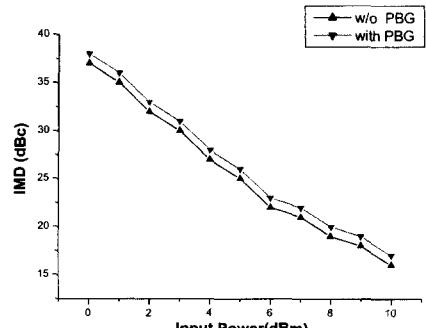


그림 19. 전력증폭기의 3차 IMD 측정  
Fig. 19. Measured 3rd IMD of power amplifier.

스펙트럼 분석기의 측정범위(9 KHz ~ 7.8 GHz)를 벗어나는 관계로 제외하였다.

측정할 수 있는 최소 전력이  $\sim 45$  dBm인 상태에서 2차 고조파는 PBG 구조를 통해 잡음수준까지 억압되었으나, 3차 고조파는 최대  $\sim 37$  dBm까지 출력

되었다. 이는 기판을 식각하여 제작하는 과정의 오차로 인해 3차 고조파에서의 입력 임피던스가  $0\Omega$ 에서 벗어났기 때문으로 판단된다.

그림 19는 CW(continuous wave) 2 tone 신호를 인가한 후 입력전력의 변화에 대한 3차 IMD의 변화를 나타낸 그림이다. 실험에 사용한 2 tone의 주파수는 2137.5, 2142.5 MHz이며 0~10 dBm의 입력에 대해 1 dBc 정도의 3차 IMD가 향상되는 결과를 얻었다. 이는 2차 고조파의 억압과 출력전력의 향상으로 인해 예상할 수 있는 결과이다.

## V. 결 론

본 논문에서는 마이크로스트립 선로상의 금속부분을 일부 제거한 PBG 구조를 이용하여 특성을 분석하고 전력증폭기에 적용하여 효율과 선형성의 개선 정도를 확인하였다.

마이크로스트립 선로상에 PBG 구조를 구현하는 방식은 기판의 한 면만 식각하므로 기존의 접지면 식각법을 이용한 PBG 구조에 비해 제작이 용이하고 접지면을 기구물에 부착할 때도 PBG 구조로 인한 제약이 없는 장점이 있다.

EM 시뮬레이터인 Ensemble을 이용하여 단위 구조의 모양이 변함에 따라 통과대역 및 저지대역이 어떻게 변하는지 분석한 결과 PBG 구조의 각 치수가 변화함에 따라 통과대역과 저지대역이 상호작용 관계를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 그러나, 치수를 최적화하여 일반적인 접지면 식각법을 이용한 PBG 구조보다 적은 통과대역 손실과 넓은 저지대역 특성을 얻을 수 있었다. 제작할 기판의  $50\Omega$  선로의 폭이 좁은 관계로 제작 과정의 정확도를 높이기 위해 단위 격자의 크기를 수직 방향으로 증가시키고, 테이퍼 선로를 이용하여 입출력을  $50\Omega$ 으로 유지시킨 결과 시뮬레이션보다 실제 측정의 전달특성이 다소 완만하지만 거의 일치함을 확인할 수 있었다. 제작한 PBG 구조는 격자 2개를 사용하여 대역폭 6~7 GHz 정도의 대역저지 특성을 보였으며, 통과대역 손실은 0.3~0.4 dB 정도에 머물렀다.

전력증폭기에 PBG 구조를 적용한 후 입력을 0~10 dBm까지 증가시키며 측정한 결과 2차, 3차 고조파가 -45 dBm, -37 dBm 이하로 억압되어 출력되

었다. 전력증폭기의 출력특성은 출력 전력은 0.72~0.99 dB, PAE는 1.14 %~7.8 %, 3차 IMD는 1 dBc 증가하는 결과를 얻을 수 있었다.

향후 연구과제로서 고조파에서 입력 임피던스를 효과적으로 조절하는 방법과 PBG 구조를 좀 더 작고 쉽게 만드는 방법에 대한 연구가 필요하다.

## 참 고 문 헌

- [1] Y. Qian, V. Radisic and T. Itoh, "Simulation and experiment of photonic band-gap structure for microstrip circuits", *APMC'1997*, pp. 585-588, Dec. 1997.
- [2] V. Radisic, Y. Qian, R. Caccioli and T. Itoh, "Novel 2-D photonic bandgap structure for microstrip lines", *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 8, no. 2, pp. 69-71, Feb. 1998.
- [3] Q. Xue, K. M. Shun and C. H. Chan, "Novel 1-D microstrip PBG cells", *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 10, no. 10, pp. 403-405, Oct. 2000.
- [4] F. R. Yang, K. P. Ma, Y. Qian and T. Itoh, "A uniplanar compact photonic-bandgap(UC-PBG) structure and its applications for microwave circuits", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. 47, no. 8, pp. 1509-1514, Aug. 1999.
- [5] R. Caccioli, F. R. Yang, K. P. Ma and T. Itoh, "Aperture-coupled patch antenna on UC-PBG substrate", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. 47, no. 11, pp. 2123-2130, Nov. 1999.
- [6] C. Y. Hang, Y. Qian and T. Itoh, "High efficiency S-band class AB push-pull power amplifier with wide band harmonic suppression", *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, vol. 3, pp. 1079-1082, May 2001.
- [7] C. Y. Hang, V. Radisic, Y. Qian and T. Itoh, "High efficiency power amplifier with novel PBG ground plane for harmonic tuning", *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, vol. 2, pp.

- 807-810, June 1999.
- [8] V. Radisic, Y. Qian, and T. Itoh, "Broadband power amplifier integrated with slot antenna and novel harmonic tuning structure", *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, vol. 3, pp. 1895-1898, June 1998.
- [9] V. Radisic, Y. Qian and T. Itoh, "Novel architectures for high-efficiency amplifiers for wireless applications", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. 46, no. 11, pp. 1901-1909, Nov. 1998.
- [10] J. Staudinger and G. Norris, "The effect of harmonic load terminations on RF power amplifier linearity for sinusoidal and  $\pi/4$  DQPSK stimuli", *IEEE MTT-S Int. Topical Symp. Technol. Wireless Applicat.*, pp. 23-28, Feb. 1997.
- [11] I. Rumsey, M. Piket-May and P. K. Kelly, "Photonic bandgap structures used as filters in microstrip circuits", *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 8, no. 10, pp. 336-338, Oct. 1998.
- [12] 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.
- [13] M. J. Erro, T. Lopetegi, M. A. G. Laso, D. Benito, M. J. Garde, F. Falcone and M. Sorolla, "Novel wideband photonic bandgap microstrip structures", *EUMC'1999*, vol. 2, pp. 345-348, Oct. 1999.
- [14] J. S. Lim, H. S. Kim, J. S. Park, D. Ahn and S. W. Nam, "A power amplifier with efficiency improved using defected ground structure", *IEEE Microwave Wireless Components Lett.*, vol. 11, no. 4, pp. 170-172, Apr. 2001.

### 김 병 희



1997년 2월: 성균관대학교 전자공학과 (공학사)  
2001년 8월: 성균관대학교 대학원 전기전자 및 컴퓨터공학과 (공학석사)  
[주 관심분야] 마이크로파 능동 및 수동소자

### 박 천 석



1988년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)  
1990년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학석사)  
1995년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학박사)  
1995년~현재: 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학부 교수  
[주 관심분야] 전자장 수치해석, 마이크로파 능동 및 수동소자, 안테나