

# 저특성 임피던스의 $\lambda_0/4$ 단락 스텐브 기술을 이용한 WLAN 저지 대역을 가지는 UWB BPF

## Lower Characteristic Impedance Based Compact $\lambda_0/4$ Short-Circuited Stub UWB Bandpass Filter with WLAN Stopband

동 타이 호아 · 주 효 석 · 김 인 석

Duong Thai Hoa · Hyo-Suk Joo · Ihn-Seok Kim

### 요 약

본 논문에서는 기존의  $\lambda_0/4$  단락 스텐브 대역 통과 필터의 특성을 개선하여 LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic)을 이용하여 UWB(Ultra Wideband) 응용에 적합한 필터 기술을 소개한다. 높은 유전 상수의 기판( $\epsilon_r = 40$ )상에 기존의  $\lambda_0/4$ 의 단락 스텐브 대역 통과 필터 기술을 적용하기 위하여 기존의 필터와는 다르게 낮은 특성 임피던스 선로를 이용하여 결과적으로 스텐브의 수를 다섯 개에서 두 개로 감소시켰다. 또한, 3개의 단락 결합 선로를 이용해서 5.15 GHz에서 5.825 GHz의 주파수 범위에서 WLAN(Wireless Local Area Network) 저지 대역을 특성 내에 삽입하였다. 본 필터는 통과 대역에서 1 dB 미만의 삽입 손실과 10 dB 이상의 반사 손실을 갖는 것으로 측정되었고, 109.49 %의 대역폭 유효율이 달성되었다. 측정 결과는 시뮬레이션 결과와 잘 일치한다. 필터의 크기는  $4 \times 8 \times 0.57 \text{ mm}^3$ 이다.

### Abstract

In this paper, we introduce a modified short-circuited stub bandpass filter suitable for ultra-wideband(UWB) applications utilizing low temperature co-fired ceramic(LTCC) technology. By modifying the conventional short-circuited stub bandpass filter structure with stubs and connecting lines of lower characteristic impedances, the number of stubs has been reduced from 5 to 2 on a high dielectric constant substrate( $\epsilon_r = 40$ ). A wireless local area network (WLAN) stopband in the frequency range of 5.15 to 5.825 GHz has been inserted into the filter characteristic using three short-circuited coupled lines. The filter has been measured with an insertion loss less than 1.0 dB and return loss better than 10 dB in the pass bands. A bandwidth ratio of 109.49 % has been achieved. Measurement results agree well with simulation results. The dimensions of the filter are  $4 \times 8 \times 0.57 \text{ mm}^3$ .

Key words : Short-Circuited Stub, Bandpass Filter, Ultra-Wideband(UWB), Low Characteristic Impedance, Multi-layer, LTCC, Wireless Local Area Network, WLAN Stopband

### I. 서 론

미 연방통신위원회(FCC)는 2002년에 상업 목적을 위해 초-광대역(UWB, 3.1 ~ 10.6 GHz)의 비허가 대역

사용을 승인한 이래로<sup>[1]</sup>, 최신의 광대역 실내와 hand-held 시스템 발전에 상당한 공헌을 하여 왔다. 따라서 UWB 기술은 관심을 끌고 있다. 그러나 5 GHz 무선 랜(WLAN) 대역이 UWB 대역의 일부와 충돌하

경희대학교 전파공학과(Department of Radio Science & Engineering, KyungHee University)

· 논문 번호 : 20081205-150

· 수정완료일자 : 2009년 1월 28일

로, WLAN 저지 대역을 갖고, 소형의 hand-held용 소형의 UWB 대역 통과 필터가 필요하였다.

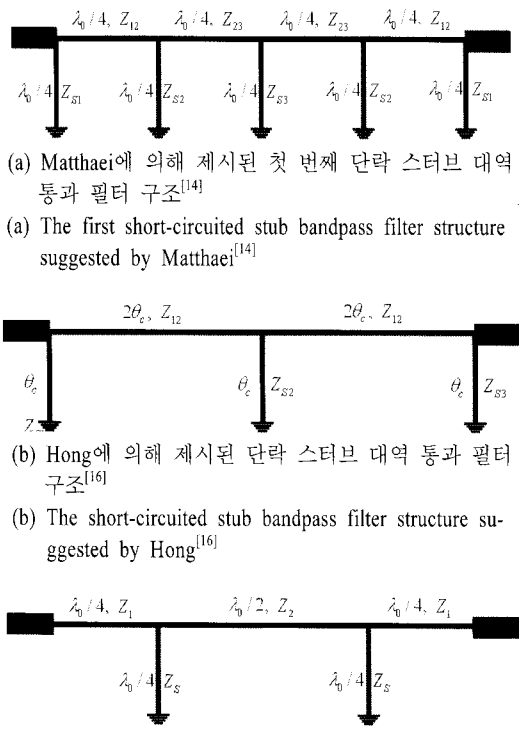
다양한 종류의 UWB 대역 통과 필터가 최근 논문에서 소개되었다. 2003년에 Saito는 손실이 있는 합성 기판에 마이크로스트립 선로를 설치함으로써 처음으로 UWB 대역 통과 필터 기술을 보고하였다<sup>[2]</sup>. 결과로는 LNA 저지 대역 없이, 통과 대역에서 6 dB 이상의 삽입 손실이 측정되었다. 다음으로 Ishida는 3.1 GHz 이하와 10.6 GHz 이상에서 transmission zero를 동시에 생성시키는 다중 링 공진기를 기반으로 하는 필터를 제안하였다<sup>[3]</sup>. 이 구조는 좁은 하부와 상부의 저지 대역을 생기기 하지만, 이 필터는 60 mm보다 큰 길이를 가졌다. 2005년에는 lowpass와 highpass 필터 구조를 결합함으로써 설계된 UWB 필터가 소개되었다<sup>[4]</sup>. 결과는 15 dB 이상의 반사 손실과 상부 저지 대역에서 좋은 억압 특성을 보여주지만, 이 필터 역시 크기가 문제였다. 참고문헌 [5]는 LTCC 기술을 기반으로 UWB의 하부 대역에서 사용될 때, 10 dB 이상의 반사 손실을 갖고, 크기도 작지만(3×2×0.86 mm<sup>3</sup>), 2.2 dB의 삽입 손실이 측정되었다. 다음으로, Zhu는 두 개의 동일한 병렬-커플 라인에 의해 두 부분에서 유도되는 다중 모드 공진기를 사용한 새로운 UWB 필터를 보고했다<sup>[6]</sup>. 이 필터의 통과 대역 안에서, 측정된 삽입 손실과 반사 손실은 각각 0.55 dB보다 작고, 10 dB보다 큰 특성을 보여주었다. 그러나, 이 필터는 병렬 라인 사이에서 실현하기 어려운 매우 높은 커플링 특성이 요구되었다. 다중 모드 공진기 기술은 참고문헌 [7]에서처럼 마이크로스트립과 코플라나 웨이브가이드의 하이브리드 구조를 이용함으로써 다시 사용되었다. 이 필터는 1 dB 이하의 삽입 손실과 9.2 dB 이상의 반사 손실을 갖지만, 상부 저지 대역이 협소한 문제를 가지고 있다. 이 필터의 길이는 16.9 mm로 크기가 또한 문제였다. 2006년에 단락 회로 코플라나 웨이브가이드 다중 모드 공진기를 포함한 UWB 대역 통과 필터가 설계되었다<sup>[8]</sup>. 이 필터는 낮은 삽입 손실을 가진 UWB 필터이지만 여전히 높은 주파수에서 협소한 저지 대역을 가진다. 다중 모드 공진기를 기반으로 하는 광대역 필터의 수정된 형태의 필터가 배제 대역의 억압 특성을 개선할 목적으로 참고문헌 [9], [10]에서 발표되었다. 그러나 어려운 커플링과 매우 협소한

간격은 여전히 UWB 성능을 달성하기 위해 필요한 요소이다. 2007년도에 Ruiz-Cruz는 LTCC 기술로 개발된 Ridge 웨이브가이드 공진기<sup>[11]</sup>를 기반으로 한 UWB 필터를 소개했다. 반사 손실은 13 dB 이상이고 삽입 손실은 2.2 dB 이하로 측정되었지만, 역시 필터의 길이가 77.8 mm나 되었다. Edge-coupled line과 stepped impedance 개방 스테르브를 사용한 또 다른 UWB 필터는 참고문헌 [12]에서 발표되었다. 이 필터는 낮은 삽입 손실과 가파른 배제 대역 억압 특성을 만드는 좋은 주파수 응답을 가지지만 interdigital edge-couple lines를 위해 매우 좁은 간격을 요구한다. 최근에, 병렬 마이크로스트립 feed line을 갖는 수정된 정사각형 slot-line 공진기를 기반으로 하는 조밀한 UWB 대역 통과 필터가 개발되었다<sup>[13]</sup>. 이 필터는 크기가 작고(10 mm), 좋은 상부 저지 대역 특성을 갖는다. 그러나, 이 필터 역시 1.43 dB의 삽입 손실을 갖지만, 전송 특성이 필터의 치수에 매우 민감하고, WLAN 저지 대역이 이 구조에 포함되지 않았다.

그림 1(a)에서 보여지는 일반적인  $\lambda_0/4$  단락 회로 스테르브 대역 통과 필터는 Matthaei<sup>[14],[15]</sup>에 의해 광대역 응용으로 처음으로 소개되었다. 2005년 Hong은 그림 1(b)에서 보여지는 것처럼 개선된 단락 스테르브 UWB 마이크로스트립 필터를 소개하였다. 기본 필터링 구조와 이 구조를 연결하는 회로 모델을 기반으로 개발된 이 필터는 복잡하지 않다<sup>[16]</sup>. 후자의 필터가 최적의 설계라는 것이 주장될지도 모른다. 왜냐하면 기존의  $\lambda_0/4$  단락 스테르브 대역 통과 필터에 비해 가장 적은 수의 T-junction을 가지기 때문이다. 추가로, 인접한 스테르브 사이에 간격은 이 설계에서 더 넓어지고 인접 스테르브와 접합 사이에 최소의 상호 작용을 이끌어낸다. 그러나, 이 구조는 UWB 주파수 범위를 얻기 위해서 높은 특성 임피던스 스테르브를 요구한다.

홈 네트워크 기술은 시장을 매우 빠르게 성장시키는데 기여하고 있다. 휴대용 홈 네트워크 기술을 만족시키기 위해서 장비들은 소형으로 저렴해야 하며, 높은 성능을 제공하고 WLAN 저지 대역을 갖추어야 한다. 그러므로 우리는 이러한 요구들을 만족하는 UWB 필터를 제안한다.

높은  $\epsilon_r$ 의 기판의 사용과, stepped impedance resonator<sup>[17]</sup>, capacitively loading<sup>[18]</sup>, a broadband double-



(a) Matthaei에 의해 제시된 첫 번째 단락 스텐브 대역 통과 필터 구조<sup>[14]</sup>  
 (a) The first short-circuited stub bandpass filter structure suggested by Matthaei<sup>[14]</sup>

(b) Hong에 의해 제시된 단락 스텐브 대역 통과 필터 구조<sup>[16]</sup>  
 (b) The short-circuited stub bandpass filter structure suggested by Hong<sup>[16]</sup>

(c) 제안된 낮은 특성 임피던스 단락 스텐브 대역 통과 필터 구조  
 (c) The proposed low characteristic impedance short-circuited stub bandpass filter structure

그림 1. 단락 스텐브 대역 통과 필터의 3가지의 다른 형태(차수  $N=5$ )

Fig. 1. Three different configurations of short-circuited stub bandpass filters(Order  $N=5$ ).

layer coupled line<sup>[19]</sup>, 그리고 T-shaped line을 포함한 많은 기술들이 회로 크기를 작게 만들기 위해 이용할 수 있다. 이 기술들 사이에서, 높은  $\epsilon_r$ 의 기판 사용이 가장 간단함에도 불구하고 높은 유전 상수 기판에서 참고문헌 [14]~[16]에 있는 것처럼 높은 특성 임피던스 선로를 얻는 것은 매우 어렵다. 이 어려움을 극복하기 위해 우리는 그림 1(c)에서 보여지는 것처럼 낮은 특성 임피던스의  $\lambda_0/4$  단락 스텐브 대역 통과 필터 기술을 소개한다. 낮은 특성 임피던스를 사용함으로써 스텐브의 수를 더욱 감소시킬 수 있다.  $n$ 개의 단락 스텐브에 대해서, 이 필터는 기존의 필터<sup>[14]</sup>에서  $n$  poles와 Hong의 필터<sup>[16]</sup>에서  $(2n-1)$  poles와 비교하여 통과 대역에서  $(2n+1)$  poles를 갖는 주파수 선택성을 얻을 수 있다.

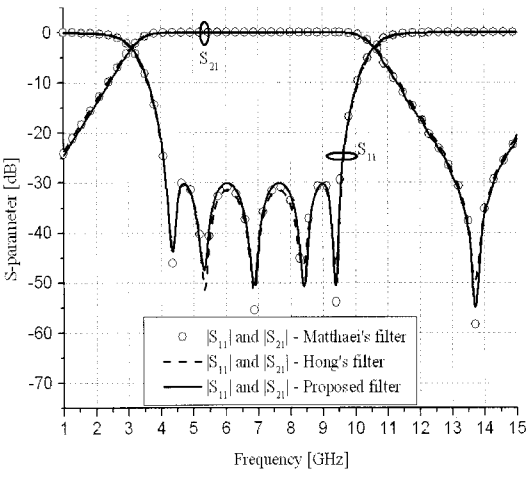


그림 2. 그림 1에서 보여준 3종류의 단락 스텐브 대역 통과 필터에 대한 주파수 특성 비교

Fig. 2. Comparison of frequency characteristics for the three types of short-circuited stub bandpass filters shown in Fig. 1.

본 논문에서 제안하는 필터는 간단한 구조를 갖는다. 대역폭은 UWB 응용에 대해서 스텐브와 선로의 특성 임피던스의 선택에 의해 조절될 수 있다. 상기의 구조를 가지고, 본 논문은 UWB 주파수 범위에 대해서 개선된 5차 단락 스텐브 대역 통과 필터를 제시한다. 본 연구에서, WLAN 저지 대역(5.15~5.825 GHz)은 Rambabu에 의해 제안된 단락 커플 라인 세 개를 이용하여 삽입된다<sup>[21]</sup>.

II. 수정된 UWB 필터 설계

2-1 필터 구조

3가지 형태의 단락 스텐브 대역 통과 필터(차수  $N=5$ )에 대한 구조가 그림 1에서 보여진다. 파장  $\lambda_0$ 와 전기적 길이  $\theta_c$ 는 필터의 중심 주파수와 더 낮은 대역을 차단하기 위한 주파수에서 각각 계산되었다. 기존의 필터는 5개의  $\lambda_0/4$  단락 스텐브와 4개의  $\lambda_0/4$  연결 선로를 사용한다. Hong은 스텐브의 수가 일반적인 구조에서 5개의 단락 스텐브에서 3개의 단락 스텐브로 줄일 수 있는 기술을 소개했다. 그리고 연결 선로의 수는 4에서 2로 감소하지만 연결 선로 길이는 그림 1(b)에서 보여지는 것처럼 2배로

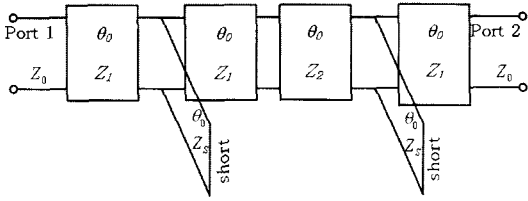


그림 3. 그림 1(c)에서 보여 준 구조에 대한 등가회로  
Fig. 3. Equivalent circuit model for the structure shown in Fig. 1(c).

(2θ<sub>0</sub>)증가한다.

본 연구에서 수정된 대역 통과 필터는 그림 1(c)에서 보여지는 것처럼 단락 스테르브의 수를 Hong의 필터보다 하나를 더 줄일 수 있다. 입, 출력 단자에 연결되는 선로는 λ<sub>0</sub>/4 길이를 갖고, 다른 선로 연결 부분은 λ<sub>0</sub>/2의 길이를 갖는다. 위의 3가지 다른 단락 스테르브 대역 통과 필터가 다른 수의 스테르브를 가지고 있음에도 불구하고, 그것들은 그림 2에서 보여지는 것처럼 3.1 GHz에서 10.6 GHz까지의 동일한 주파수 특성을 가진다. 그러나, 제안된 λ<sub>0</sub>/4 단락 스테르브 대역 통과 필터는 더 적은 수의 스테르브를 갖고 높은 ε<sub>r</sub>의 기판을 사용하기 때문에 다른 필터들과 비교해서 더욱 소형으로 설계된다.

### 2.2 수정된 λ<sub>0</sub>/4 단락 스테르브 대역 통과 필터의 등가 회로

제안된 필터의 등가 회로 모델은 그림 3에서 보여지는 것처럼 대칭적이다. 회로는 각각 특성 임피던스 Z<sub>1</sub>과 Z<sub>2</sub>를 갖는 2개의 단일 구성 요소 부분과, 특성 임피던스 Z<sub>s</sub>를 갖는 2개의 λ<sub>0</sub>/4 단락 스테르브로 구성되어진다. ABCD 행렬 T<sub>1</sub>과 T<sub>2</sub>는 각각 특성 임피던스 Z<sub>1</sub>과 Z<sub>2</sub>를 갖는 단위 구조 부분을 표현한다.

$$T_1 = \begin{bmatrix} \cos \theta_0 & jZ_1 \sin \theta_0 \\ j \frac{\sin \theta_0}{Z_1} & \cos \theta_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$T_2 = \begin{bmatrix} \cos \theta_0 & jZ_2 \sin \theta_0 \\ j \frac{\sin \theta_0}{Z_2} & \cos \theta_0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 θ<sub>0</sub>는 중심 주파수 6.85 GHz에서 전기적 각도이다. 식 (3)의 ABCD 행렬 T<sub>3</sub>는 단락 스테르브 부분을 나타내준다.

$$T_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{jZ_s \tan \theta_0} & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

그러므로, 전체 필터에 대한 ABCD 행렬은 스테르브 부분의 곱에 의해 다음과 같이 얻어질 수 있다.

$$T_T = T_1 \times T_3 \times T_2 \times T_3 \times T_1 \quad (4)$$

마지막으로, 산란 행렬 표현은 다음과 같이 얻어질 수 있다.

$$S_{11} = \frac{A_T + B_T / Z_0 - C_T Z_0 - D_T}{A_T + B_T / Z_0 + C_T Z_0 + D_T}$$

$$S_{21} = \frac{2(A_T D_T - B_T C_T)}{A_T + B_T / Z_0 + C_T Z_0 + D_T} \quad (5)$$

### 2.3 제안된 필터의 구현

등가 회로 모델을 설명하기 위해서, 제안된 필터의 S-parameter의 계산이 예제로 보여질 것이다. 그림 4에서 보듯이, 스테르브의 임피던스(Z<sub>s</sub>)를 더 크게 할수록, 필터의 대역은 더 넓어진다. 반사 손실 특성 또한 그림 5에서 보여지는 것처럼 연결 선로 부분의 임피던스 Z<sub>1</sub>과 Z<sub>2</sub>를 변화시킴으로써 조절될 수 있다. 특성 임피던스 Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub>와 Z<sub>s</sub>를 변화시키고 식 (5)로부터 S-parameter를 살펴보면, 우리는 중심 주파수 6.85 GHz에서 Z<sub>1</sub>=36.5 Ω, Z<sub>2</sub>=36.3 Ω, 그리고 Z<sub>s</sub>= 20.2 Ω의 값의 회로 파라미터를 차례차례로 쉽게 얻을 수 있다. 위의 특성 임피던스를 가지고, 제안된 필터의 ABCD 행렬은 식 (6)~(9)에 의해 묘사될 수 있고, |S<sub>11</sub>|과 |S<sub>21</sub>|은 식 (10)과 식 (11)을 사용해서 계산될 수 있다. 만약 우리가 식 (10)과 식 (11)에 θ = θ<sub>0</sub>/f<sub>0</sub>를 대체한다면, 우리는 그림 2에서 보여지는 것과 같은 주파수 응답을 얻을 수 있다. 여기서 f<sub>0</sub>는 필터의 중심 주파수이다. 필터의 최종 구조는 High Frequency Structure Simulator(HFSS)로 조정되었다. 그림 6은 제안된 필터의 3-D 구조와 위에서 본 구조를 나타낸다. 구조

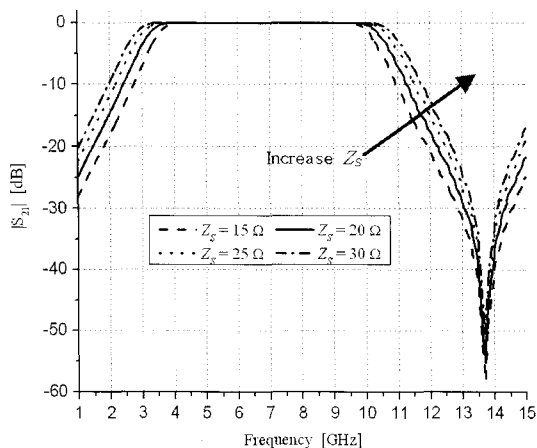


그림 4. 제안된 필터의 대역폭은 스텐브 특성 임피던스  $Z_s$ 를 바꿈으로써 조절될 수 있음을 보여주는 그림

Fig. 4. Bandwidth variation of the proposed filter can be controlled by changing the stub characteristic impedance,  $Z_s$ .

는 16층으로 구성되고, 각층은 35  $\mu\text{m}$ 의 두께와 40의 유전 상수의 green tape으로 이루어진다. 필터 회로는 8번째층에 위치한다. Via-hole은 노이즈의 영향을 줄이기 위해서 이상적인 수직의 벽 대신에 추가되었다. LTCC 제조 과정의 한계 때문에 두 인접한 비아 간의 거리는 필터의 성능을 나빠지게 하는 0.35 mm보다 더 클 필요가 있다. 표 1은 그림 6에 보여지는 것처럼 필터의 특성과 치수를 나타낸다. 단락 커플 선로를 추가함으로써, 5.15에서 5.825 GHz의 주파수 범위에서 WLAN 저지 대역을 가지기 위한 결합 회로의 길이는 약  $\lambda_0/4$ 에서 계산되었다.  $\lambda_s$ 는 그림 7에서 보여지는 WLAN 대역의 중심 주파수(5.49 GHz)의 파장이다. WLAN 저지 대역

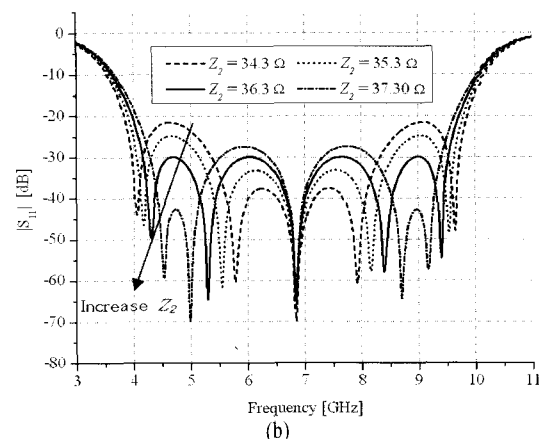
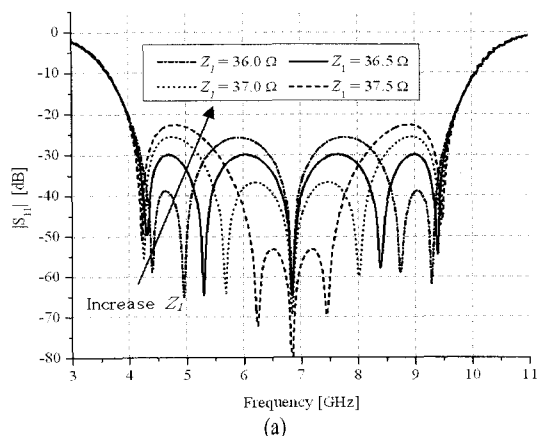


그림 5. (a)  $Z_1$ 과 (b)  $Z_2$ 를 변화함에 따른 필터의 반사 손실 특성의 변화

Fig. 5. Variations of the return loss characteristics of the filter by (a) changing  $Z_1$  and (b)  $Z_2$ .

의 대역폭은 3개의 다른 길이의 단락 커플 선로와 커플링 폭을 선택함으로써 조절될 수 있다. 참고문헌 [16]에서 설명된 UWB 응용에 대해 설계된 2개의 단락 스텐브 대역 통과 필터가 있다. 첫 번째

$$A = \{2 \times 10^{-10} [2.376 \times 10^{10} \cos(2\theta) \sin(\theta) \cos^2(\theta) - 1.682 \times 10^{10} \sin(2\theta) \cos(\theta) + \dots + 3.304 \times 10^{10} \sin(2\theta) \cos^3(\theta) - 0.5 \times 10^{10} \sin(\theta) \cos(2\theta)]\} / \sin(\theta) \quad (6)$$

$$B = 4 \times 10^{-8} \{0.435 \times 10^{10} \cos(2\theta) \sin(\theta) \cos(\theta) - 9.226 \times 10^8 \sin(2\theta) + 0.605 \times 10^{10} \sin(2\theta) \cos^2(\theta)\} \quad (7)$$

$$C = \{0.1 \times 10^{-10} \{ -0.546 \times 10^{10} \cos(2\theta) \sin(\theta) \cos(\theta) + 1.298 \times 10^{10} \cos(2\theta) \cos(\theta) \cos^3(\theta) + \dots - 1.563 \times 10^{10} \sin(2\theta) \cos^2(\theta) + 1.805 \times 10^{10} \sin(2\theta) \cos^4(\theta) + 0.271 \times 10^{10} \sin(2\theta) \}\} / \sin^2(\theta) \quad (8)$$

$$D = \{0.1 \times 10^{-10} [ -0.1 \times 10^{10} \cos(2\theta) \sin(\theta) + 0.475 \times 10^{10} \cos(2\theta) \cos(\theta) \cos^2(\theta) + \dots - 0.337 \times 10^{10} \sin(2\theta) \cos(\theta) + 0.661 \times 10^{10} \sin(2\theta) \cos^3(\theta) ]\} / \sin(\theta) \quad (9)$$

$$|S_{11}| = 0.05 \left| \{-6 \cos^2(2\theta) \cos(\theta) + 5 \cos(2\theta) \cos^4(\theta) + 15 \sin(2\theta) \sin(\theta) \cos^3(\theta) + \cos(2\theta) + \dots \right. \\ \left. + 3.73 \times 10^9 i \cos(\theta) \cos(2\theta) \sin(\theta) + 1.5 \times 10^{10} i \cos^3(\theta) \cos(2\theta) \sin(\theta) + 3.38 \times 10^9 i \sin(2\theta) + \dots \right. \\ \left. - 1.12 \times 10^{10} i \sin(2\theta) \cos^2(\theta) + 2.09 \times 10^{10} i \sin(2\theta) \cos^4(\theta)\} / \{-2.88 \times 10^9 \cos(2\theta) \cos^2(\theta) + \dots \right. \\ \left. + 2.38 \times 10^9 \cos(2\theta) \cos^4(\theta) + 1.68 \times 10^9 \sin(\theta) \cos(\theta) \sin(2\theta) - 3.3 \times 10^9 \sin(\theta) \cos^3(\theta) \sin(2\theta) + \dots \right. \\ \left. + 5 \times 10^8 \cos(2\theta) - 1.55 \times 10^9 i \cos(\theta) \cos(2\theta) \sin(\theta) + 2.49 \times 10^9 i \cos^3(\theta) \cos(2\theta) \sin(\theta) + \dots \right. \\ \left. + 5.23 \times 10^8 i \sin(2\theta) - 3.48 \times 10^9 i \sin(2\theta) \cos^2(\theta) + 3.47 \times 10^9 i \sin(2\theta) \cos^4(\theta)\} \right| \quad (10)$$

$$|S_{21}| = 2 \times 10^{-10} \left| \{1.58 \times 10^{10} \cos^2(2\theta) \cos^2(\theta) - 8.68 \times 10^{10} \cos^2(2\theta) \cos^4(\theta) + 2.2 \times 10^{10} \cos^2(2\theta) \cos^6(\theta) + \dots \right. \\ \left. + 5.21 \times 10^{10} \cos^3(\theta) \cos(2\theta) \sin(2\theta) \sin(\theta) - 3.94 \times 10^{10} \cos^5(\theta) \cos(2\theta) \sin(2\theta) \sin(\theta) + \dots \right. \\ \left. + 2.55 \times 10^8 \cos(\theta) \cos(2\theta) \sin(2\theta) \sin(\theta) - 2.5 \times 10^{18} \cos^2(\theta) + 4.69 \times 10^{10} \cos^4(\theta) + 1.13 \times 10^{10} \cos^6(\theta) + \dots \right. \\ \left. - 1.25 \times 10^9 \cos^2(2\theta) + 2.5 \times 10^{18}\} / \{2.88 \times 10^9 \cos(2\theta) \cos^2(\theta) + 2.38 \times 10^9 \cos(2\theta) \cos^4(\theta) + \dots \right. \\ \left. + 1.68 \times 10^9 \cos(2\theta) \cos(\theta) \sin(\theta) - 3.30 \times 10^9 \cos^3(\theta) \sin(\theta) \sin(2\theta) - 5 \times 10^8 \cos(2\theta) + \dots \right. \\ \left. - 1.55 \times 10^9 i \cos(2\theta) \cos(\theta) \sin(\theta) + 2.49 \times 10^9 i \cos^3(\theta) \cos(2\theta) \sin(\theta) + 5.23 \times 10^8 i \sin(2\theta) + \dots \right. \\ \left. - 3.35 \times 10^9 i \cos^2(\theta) \sin(2\theta) + 3.47 \times 10^9 i \sin(2\theta) \cos^4(\theta)\} \right| \quad (11)$$

표 1. 필터의 설계 파라미터와 치수  
Table 1. Design parameters and dimensions for the filter.

Filter specification		Dimensions for the structure	
Center frequency	6.85 GHz	Size(mm)	
Order of filter	5	$L_1$	3.25
Fractional bandwidth	109.49 %	$L_2$	6.56
Number of layers	16	$L_S$	3.55
Layer thickness	35 $\mu\text{m}$	$W_1$	0.045
Dielectric constant	40	$W_2$	0.06
Conductor thickness	10 $\mu\text{m}$	$W_S$	0.2
Diameter of via	140 $\mu\text{m}$	$D_{in}$	0.2
Distance between vias	350 $\mu\text{m}$	$D_{out}$	0.7

것은 기존의  $\lambda_0/4$  단락 스테브 필터이고, 두 번째는 Hong의 필터이다. 기존의 필터에서 스테브의 특성 임피던스는 97.13  $\Omega$ 에서 199.07  $\Omega$  정도로 매우 높은 임피던스 범위를 가진다. Hong의 필터에서 스테브의 특성 임피던스는 64.48에서 103.96  $\Omega$  정도로 상대적으로 낮다. 그러나, 위와 같은 임피던스 범위는 본 연구의 40의 유전 상수를 갖는 기판에 대해 너무 높다. 그래서 매우 낮은 특성 임피던스 스테브(20~25  $\Omega$ )를 사용하기 위해 새로운 구조를 제안하여 해결하였다. LTCC 공정의 Shrinking effect는 제작에 앞서 반드시 고려되어야 한다. 그린 테잎( $\epsilon_r = 40$ )의 Shrinking coefficient  $S$ 는 18.5 $\pm$ 1 %이다. 그래서 필터

의 치수는 제작에 앞서 1.227의 요인 정도로 커져야만 한다.

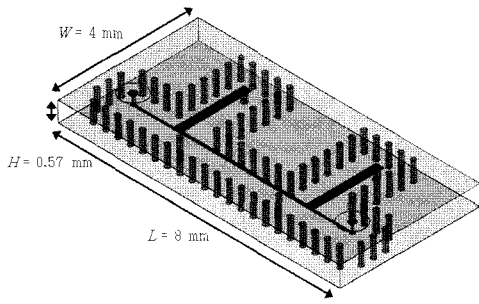
$$S = \frac{L'-L}{L'} = 18.5\% \quad \text{or} \quad L' = 1.227 \times L \quad (12)$$

$L$ 은 필터의 원래 치수이고,  $L'$ 은 shrinking effect를 고려한 후의 치수이다.

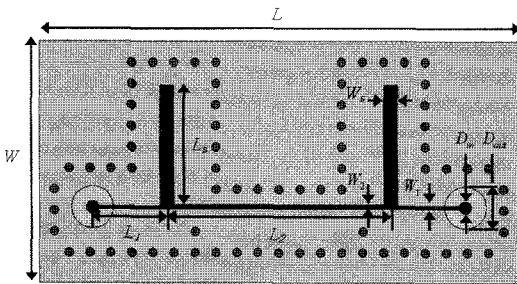
### III. 측정 결과

우리는 그림 6과 7에서 보여지는 구조를 HFSS로 시뮬레이션 하였고, Anritsu ME7808A 네트워크 아날라이저로 성능을 측정하였다. 그림 8은 그림 6에서 보여준 구조에 대해 시뮬레이션과 측정 결과 간의 비교를 나타내준다. 비어 있는 동그라미 커브는 S-parameter와 group delay의 시뮬레이션 결과를 가리킨다. 시뮬레이션 결과는 7.5 GHz의 대역폭(3.1~10.6 GHz)을 나타낸다. 반사 손실은 18 dB 이상이고, 삽입 손실은 통과 대역에서 0.6 dB 이하이다. 검은색의 동그라미 커브는 측정 결과를 나타낸다.

15 dB 이상의 반사 손실과 0.8 dB 이하의 삽입 손실이 측정되었다. 필터의 group delay는 그림 8에서 보여지는 것처럼 통과 대역 내에 있는 대부분의 주파수에서 약 0.26 $\pm$ 0.1 ns 정도이다. 그림 7에서 보여지는 WLAN 저지 대역 특성을 포함한 구조가 시뮬레이션 되고 측정되었다. 5.15에서 5.825 GHz의 WLAN 저지 대역의 특성이 그림 9에서 보여진다. 두



(a) 3차원 형태  
(a) 3-D view



(b) 위에서 본 모습  
(b) Top view

그림 6. 제안된 필터의 구조  
Fig. 6. The structures of the proposed filter.

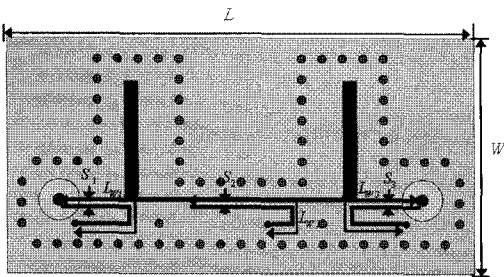


그림 7. WLAN 저지 대역을 갖는 필터의 위에서 본 구조 ( $L_{w1}=2.45$  mm,  $L_{w2}=2.51$  mm,  $L_{w3}=2.45$  mm,  $S_1=0.07$  mm,  $S_2=0.07$  mm,  $S_3=0.07$  mm)

Fig. 7. Top view of the filter with the WLAN stop-band ( $L_{w1}=2.45$  mm,  $L_{w2}=2.51$  mm,  $L_{w3}=2.45$  mm,  $S_1=0.07$  mm,  $S_2=0.07$  mm,  $S_3=0.07$  mm).

개의 통과 대역 안에서 시뮬레이션 결과는 반사 손실이 12 dB 이상이고, 삽입 손실이 0.8 dB 이하인 것을 보여준다. 5 GHz WLAN 억제 대역에 대해 시뮬레이션 결과는 17 dB의 삽입 손실과 0.1 dB의 반사

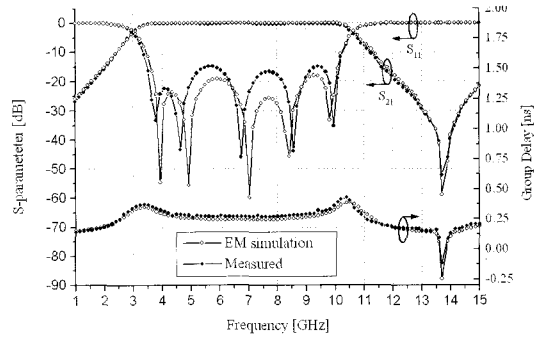


그림 8. 그림 6에서 보여진 필터의 시뮬레이션과 측정 결과

Fig. 8. Simulated and measured results for the filter shown in Fig. 6.

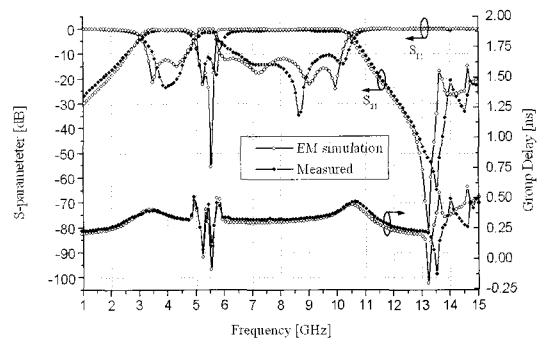


그림 9. WLAN 저지 대역을 갖는 필터의 측정과 시뮬레이션 간의 특성 비교. group delay 특성도 보여주고 있다.

Fig. 9. Comparison between measurement and simulation results for the filter with the WLAN stop-band.

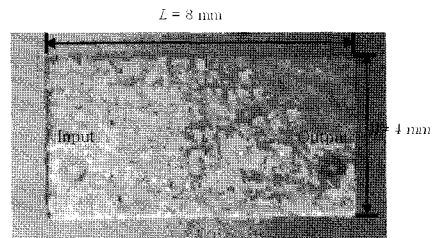


그림 10. 실제 제작된 대역 통과 필터의 위에서 본 사진

Fig. 10. Photograph of the top view of the fabricated bandpass filter.

손실을 달성했고, 측정 결과는 11 dB의 삽입 손실과 1.4 dB의 반사 손실을 보여준다. 측정된 group delay는 그림 9에서 보여지는 것처럼 필터의 두 개의 통

과 대역에서 0.3 과 0.55 사이에서 변한다. 시뮬레이션과 측정 결과는 잘 상응된다. 그림 10은 제작된 대역 통과 필터를 위에서 본 모습이다. 필터의 크기는  $4 \times 8 \times 0.57 \text{ mm}^3$ 이다.

#### IV. 결 론

본 논문에서, 우리는 UWB 시스템 응용을 위해 LTCC 기술을 사용해서 제작된 수정된 낮은 특성 임피던스  $\lambda_0/4$  단락 스테브 대역 통과 필터 기술을 소개하였다. 수정된 구조는 된 구조는 높은 유전상수 ( $\epsilon_r = 40$ )의 기판상에서 낮은 특성 임피던스 라인을 사용하여 성취되었다. 필터는 참고문헌 [16]에서 달성된  $(2n-1)$  pole의 수보다  $n$ 개의 단락 스테브에 대해서  $(2n+1)$ 의 pole의 수를 가지므로 더 높은 선택성을 갖는다. 1.0 dB 이하의 삽입 손실과 10 dB 이상의 반사 손실이 통과 대역에서 측정되었다. 3개의 단락 커플 라인을 사용함으로써, 5.15에서 5.825 GHz 주파수 범위의 WLAN 저지 대역이 본 필터의 특성에 삽입되었다. 제작된 필터는 평탄한 group delay ( $\sim 0.4 \pm 0.1 \text{ ns}$ )를 보인다. 그리고 길이가 8 mm 이하인 작은 크기를 갖는다. 간단하고 소형의 구조는 본 필터를 UWB 시스템, 특히 mobile home network 활용에 매우 적합하게 한다.

#### 참 고 문 헌

- [1] FCC, "Revision of Part 15 of the commission's rules regarding ultra-wide-band transmission system", *Tech. Rep.*, ET-Docket 98-153, Feb. 2002.
- [2] A. Saito, H. Harada, and A. Nishikata, "Development of bandpass filter for Ultra Wideband(UWB) communication systems", *Proc. IEEE Conf. Ultra-Wideband Syst. Technol.*, pp. 76-80, Nov. 2003.
- [3] H. Ishida, K. Araki, "Design and analysis of UWB bandpass filter with ring filter", *IEEE MTT-S Int. Dig.*, pp. 1307-1310, Jun. 2004.
- [4] C. L. Hsu, F. C. Hsu, and J. T. Kuo, "Microstrip bandpass filter for Ultra-Wideband(UWB) wireless communications", *IEEE MTT-S Int. Dig.*, pp. 679-682, Jun. 2005.
- [5] C. W. Tang, C. C. Tseng, H. H. Liang, and S. F. You, "Development of ultra-wideband LTCC filter", *IEEE ICU*, pp. 5-8, Sep. 2005.
- [6] L. Zhu, S. Sun, and W. Menzel, "Ultra-wideband (UWB) bandpass filters using multiple mode resonator", *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 15, no. 11, pp. 796-798, Nov. 2005.
- [7] H. Wang, L. Zhu, and W. Menzel, "Ultra-wide band bandpass filter with hybrid microstrip/CPW structure", *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 15, no. 12, pp. 844-846, Dec. 2005.
- [8] J. Gao, L. Zhu, W. Menzel, and F. Bogelsack, "Short-circuited cpw multiple-mode resonator for Ultra-Wideband(UWB) bandpass filter", *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 16, no. 3, pp. 104-106, Mar. 2006.
- [9] R. Li, L. Zhu, "Compact UWB bandpass filter using stub-loaded multiple-mode resonator", *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 17, no. 1, pp. 40-42, Jan. 2007.
- [10] S. W. Wong, L. Zhu, "EBG-embedded multiple-mode resonator for UWB bandpass filter with improved upper-stopband performance", *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 17, no. 6, pp. 421-423, Jun. 2007.
- [11] J. A. Ruiz-Cruz, Y. Zhang, K. A. Zaki, A. J. Piloto, and J. Tallo, "Ultra-wideband LTCC ridge waveguide filters", *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 17, no. 2, pp. 115-117, Feb. 2007.
- [12] P. K. Singh, S. Basu, and Y. H. Wang, "Planar ultra-wideband bandpass filter using edge coupled microstrip lines and stepped impedance open stub", *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 17, no. 9, pp. 649-651, Sep. 2007.
- [13] P. Mondal, M. K. Mandal, and A. Chakrabarty, "Compact ultra-wideband bandpass filter with improved upper stopband", *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 17, no. 9, pp. 643-645, Sep. 2007.
- [14] G. L. Matthaei, "Design of wide-band (and narrow-band) band-pass microwave filters on the insertion loss basis", *IRE Trans. MTT*, pp. 580-593, Nov.



1960.

- [15] G. L. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, *Microwave Filters Impedance-matching Networks and Coupling Structures*, Norwood, MA: Artech House, 1980.
- [16] J. S. Hong, H. Shaman, "An optimum ultra-wide-band microstrip filter", *Microw. Opt. Technol.*, vol. 47, no. 3, pp. 230-233, Nov. 2005.
- [17] M. Makimoto, S. Yamashita, "Compact bandpass filters using stepped impedance resonators", *Proc. IEEE.*, vol. 67, no. 1, pp. 16-19, Jan. 1979.
- [18] L. A. Robinson, "Wideband interdigital filters with capacitively loaded resonators", *G-MTT Symp. Dig.*, vol. 65, pp. 33-38, May 1965.
- [19] Y. Zhang, K. A. Zaki, "Miniature broadband bandpass filters using double-layer coupled stripline resonators", *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech.*, vol. 54, no. 8, pp. 3370-3377, Aug. 2006.
- [20] W. H. Tu, K. Chang, "Compact second harmonic-suppressed bandstop and bandpass filter using open stubs", *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech.*, vol. 54, no. 6, pp. 2497-2520, Jun. 2006.
- [21] K. Rambabu, M. Y. W. Chia, K. M. Chan, and J. Bornemann, "Design of multiple-stopband filters for interference suppression in UWB applications", *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech.*, vol. 54, no. 8, pp. 3333-3338, Aug. 2006.

Duong Thai Hoa



1999년 9월~2004년 2월: HCM City University of Technology  
 2004년 3월~2005년 2월: PHOTRON Ltd., Technical Staff  
 2005년 3월~현재: 경희대학교 전자공학과 박사과정  
 [주 관심분야] 초고주파 수동소자, 필터, 공진기, 커플러, UWB

주 효 석



2000년 3월~2007년 2월: 경희대학교 전자공학과 (공학사)  
 2007년 3월~현재: 경희대학교 전자공학과 석사과정  
 [주 관심분야] 초고주파 수동소자, 필터, UWB, LNA

김 인 석



1974년 2월: 경희대학교 전파공학과 (공학사)

1984년 2월: Univ. of Ottawa 전기공학과 (공학석사)

1990년 10월: Univ. of Ottawa 전기공학과 (공학박사)

1973년 10월~1980년 8월: 한국방송공사(KBS) 기술사원

1983년 2월~1983년 12월: 캐나다 Com Dev Ltd., Div of Satellite System, Technical Staff

1984년 1월~1985년 8월: 캐나다 General Instrument, Div. Satellite System, Senior Engineer

1990년 10월~1991년 2월: Canadian Space Agency, David Florida Lab., Research Scientist

1997년 1월~2001년 12월: 정보통신부 국가주파수 심의위원

1999년 3월~2000년 2월: 한국전자통신연구원(초빙연구원), 스위스 연방공과대학(방문교수), 모토로라 전자파연구소(Ft. Lauderdale, US) 초청연구원

2000년 1월~2008년 12월: 미국 전기전자공학회(IEEE Microwave Theory & Techniques), 논문 편집위원

2002년 1월~2007년12월: 미국 전기전자공학회 (IEEE Microwave & Wireless Components Letters), 논문편집위원

2003년 1월~2004년 12월: (사)한국항행학회 회장

2004년 7월~2007년 2월: 한국전파교육대학협의회 회장

2006년 11월~현재: 한국전자파학회 전자파교육연구회 위원장

2007년 1월~현재: 방송통신위원회 전파연구소 전자파기준전문위원회 제2소위원회 위원장

1992년 3월~현재: 경희대학교 전자정보대학 전자전파공학 교수

[주 관심분야] 마이크로웨이브 공진기연구, 공진기의 발전기와 필터 쪽의 응용 연구, EMI/C 대책기술, 주파수관리기술, 전파교육 등