
UWB BPF의 설계 및 구현

강상기* · 이재명** · 홍성용***

Design and Implementation of UWB BPFs

Sanggee Kang* · Jaemyung Lee** · Sungyong Hong***

요 약

최근 통신용 UWB에 대한 주파수할당과 기술기준이 완료됨에 따라서 UWB 시스템에 대한 개발이 활발히 진행되고 있다. 우리나라의 경우 low band로 3.1 ~ 4.8GHz와 high band로 7.2 ~ 10.2GHz를 통신용 UWB 시스템에 할당하고 있으며, 현재의 RF 부품 기술과 제품 구현의 용이성을 고려하면 low band를 많이 이용할 것이다.

본 논문에서는 제품 구현의 용이성을 고려해서 low band를 이용하는 통신용 UWB 시스템을 위한 interdigital BPF를 설계 및 제작하였다. BPF는 low band 대역필터와 low band 채널필터를 설계 및 제작하였다. 성능 측정결과 low band 대역필터는 3.1GHz와 4.8GHz에서 각각 21.85dB와 17.91dB의 감쇠특성을 가지며, -10dB 대역폭은 1.53GHz, 삽입손실은 2dB이었다. Low band 대역은 500MHz 대역폭으로 3개의 채널이 할당 가능하며, 구현한 low band의 1번 채널필터는 3.1GHz에서 24.85dB의 감쇠특성, -10dB 대역폭은 0.61GHz, 삽입손실은 1.87dB로 측정되었다. Low band의 3번 채널필터는 4.8GHz에서 19.2dB의 감쇠특성을 가지며, 10dB 대역폭은 0.49GHz이고 2.49dB의 삽입손실은 갖는다.

ABSTRACT

Recently the frequency assignment and the technical specifications of UWB systems for communications are completed. Therefore many UWB systems have been developed. In our country 3.1 ~ 4.8GHz and 7.2 ~ 10.2GHz are assigned for UWB systems for communications. When we consider RF technologies and the easy implementation of UWB systems, UWB systems used in the low band are more developed than high band systems.

In this paper we design and implement a BPF for low band UWB systems by means of considering the easy implementation of UWB systems. The designed and implemented BPFs are low band filter and low band channel filters. The measured results of the low band filter show that the filter has 21.85dB and 17.91dB attenuation at 3.1GHz and 4.8GHz, 1.53GHz of -10dB bandwidth and 2dB of insertion loss. Low band can be divided into 3 channels with 500MHz of the channel bandwidth. The channel filter for channel number 1 has the characteristics of 24.85dB attenuation at 3.1GHz, 0.61GHz of -10dB bandwidth and 1.87dB of insertion loss. The filter for channel 3 in low band has 19.2dB of attenuation at 4.8GHz, 0.49GHz of -10dB bandwidth and 2.49dB of insertion loss.

키워드

초광대역(UWB: Ultra Wide-Band), 대역통과여파기(BPF: Band Pass Filter), 인터디지털 필터(Interdigital Filter)

* 군산대학교

** (주)로스원

*** 충남대학교

I. 서론

UWB 시스템은 특수 목적의 군용 기술로 미국에서 개발되었으나, 2002년 2월에 FCC의 상업적 사용을 승인한 이후에 상용 시장에서 광범위한 응용분야를 갖는 새로운 기술로 부각되었다. UWB 시스템은 고속의 데이터 전송이 가능하고, 다중 경로에 의한 간섭에 강하며, 회로를 간단하게 구성할 수 있어서 저가격 구성이 가능한 특징을 가짐에 따라 군사, 안전구조, 안전진단, 특수 산업 분야 등의 다양한 분야에 적용되기 시작하였다.

UWB 시스템은 통신용 UWB 시스템과 image 용(또는 센서용) 시스템으로 구분되며, 현재 산업에 많이 사용되는 image 용 UWB 시스템에는 GPR(Ground Penetrating Radar), wall imaging system, through-wall imaging system, surveillance system, medical imaging system 및 vehicular radar system이 있다[1].

UWB 시스템은 대역폭으로 구분하며, 미국의 경우에는 fractional 대역폭이 0.2 이상 또는 -10dB 대역폭이 500MHz 이상인 시스템을 UWB 시스템으로 정의한다 [1]. 유럽의 경우에는 UWB 시스템을 임펄스 방식과 RF 캐리어 방식으로 구분하고, RF 캐리어 방식의 경우에는 기저대역 신호처리에 의한 대역폭이 50MHz를 초과하면 UWB 시스템으로 정의하고 있다[2]. 우리나라는 2007년 3월에 UWB 시스템에 대한 주파수 분배와 기술기준이 완료되었다. 우리나라는 -10dB 대역폭이 450MHz 이상이면 UWB 시스템으로 분류하며, UWB 시스템에 low band로 3.1 ~ 4.8GHz 및 high band로 7.2 ~ 10.2GHz의 두 개의 주파수 대역을 할당하였다[3]. 또한 UWB 시스템에 할당된 3.1 ~ 4.8GHz 중에서 4.2 ~ 4.8GHz 대역은 2010년 6월까지 DAA(Detection And Avoid) 기능의 적용을 잠정 유예하고 있으므로, 현재의 무선 부품 기술과 제품 구현의 용이성을 고려하면 초기에는 DAA 적용 유예 주파수 대역을 많이 사용할 것으로 예상된다.

본 논문에서는 통신용 UWB 시스템에 할당된 두 개의 대역 중에서 low band 대역을 이용하는 UWB 시스템을 위한 BPF의 설계, 구현 및 성능 시험결과를 기술한다.

II. 설계 및 구현

표 1은 우리나라와 미국, 일본 및 유럽의 통신용 UWB 시스템의 스펙트럼 마스크 특성을 요약한 것이다. 표 1은 세계 각국의 UWB 주파수 할당과 감쇠특성에 다소 차이가 있음을 보여준다. 현재의 RF 부품 기술 수준을 고려하면 3 ~ 5GHz 대역의 UWB 시스템이 활발히 개발될 것으로 예상되며, 그 중에서도 DAA의 실현 문제를 고려하면, DAA 기술 구현의 시간적 유예 대역에서 UWB 시스템의 개발이 활발하게 진행될 것이다. 우리나라에서 low band로 할당된 3.1 ~ 4.8GHz 대역은 3개의 대역(1번 채널: 3.2 ~ 3.7GHz, 2번 채널: 3.7 ~ 4.2GHz, 3번 채널: 4.2 ~ 4.7GHz) 또는 low band(3.2~4.7GHz)를 이용하는 시스템으로 주파수를 구분해서 생각할 수 있다. Low band의 주파수를 구분하면서 대역의 시작과 끝 주파수를 3.2GHz와 4.7GHz로 설정하였는데, 방사규격을 쉽게 만족하고 인접대역의 타 시스템에 간섭영향을 줄이기 위해서 이와 같이 대역의 시작과 끝 주파수를 설정하였다. 주파수 대역폭과 감쇠특성을 고려한 BPF의 설계 규격은 표 2와 같다. 표 1에서 우리나라는 band edge에서 29dB의 감쇠특성이 필요함을 알 수 있다. 그런데 UWB 시스템은 -10dB 대역폭으로 구분하기 때문에 -10dB 대역폭을 고려하면, band edge에서는 약 20dB의 감쇠특성을 가져야 한다.

표 1. UWB 스펙트럼 마스크 특성
Table 1. Spectrum mask characteristics of UWB

구분	주파수대역(감쇠특성)
한국	3.1 ~ 4.8GHz, 7.2 ~ 10.2GHz (band edge에서 29dB 이상 감쇠)
일본	3.4 ~ 4.8GHz(29dB @3.4GHz, 43dB @2.6GHz, 48dB @1.6GHz), 7.2 ~ 10.2(29dB @band edge)
유럽	3.1 ~ 4.95GHz(29dB @3.1GHz, 43dB @2.6GHz, 29dB @4.95GHz), 6 ~ 9GHz(29dB @6GHz, 24dB @9GHz, 43dB @10.6GHz)
미국	3.1 ~ 10.6GHz(실외기준 20dB @3.1GHz, 23dB 이상 @1.99GHz, 35dB @1.61GHz)

표 2. UWB BPF의 설계 규격
Table 2. Required performance specifications of the UWB BPF

순번	항 목	성 능 규 격
1	삽입손실	3dB 이하
2	입출력반사계수	-9dB 이하
3	감쇠특성	-20dB 이하 @3.1GHz, 4.8GHz

UWB용 BPF는 필터의 주파수 대역폭과 크기를 고려해서 **interdigital** 필터를 선택하였다. **Interdigital** 필터는 중심주파수에서 공진기의 전기적인 길이가 90° 이고, 공진기는 한쪽이 단락되어 있고 다른 한쪽은 개방되어 있는 형태이며, 공진기의 단락 포트와 개방 포트의 방향은 교대로 위치하는 구조를 갖는다. 또한 **Interdigital** 필터는 높은 주파수에서 감쇠가 가파른 특성을 갖는다. 그림 1은 설계하려는 **interdigital** 필터의 구조이다. 그림 1과 같은 구조를 갖는 **interdigital** 필터의 설계 파라미터는 다음과 같이 계산된다[4,5].

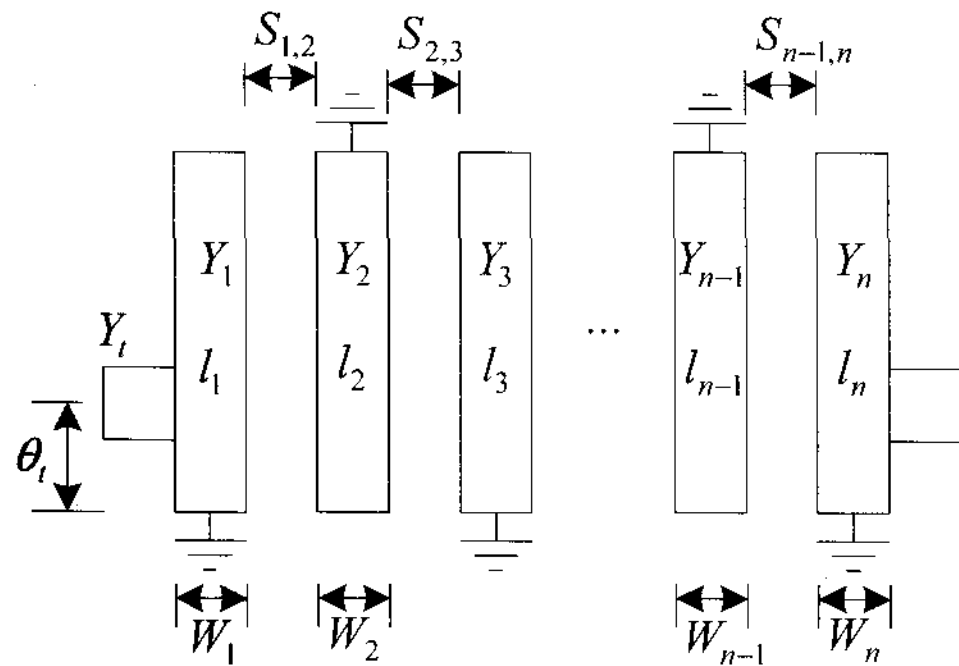


그림 1. Interdigital 필터의 구조
Figure 1. The configuration of the interdigital filter

$$\theta = \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{FBW}{2} \right), Y = \frac{Y_1}{\tan \theta} \quad (1)$$

$$J_{i,i+1} = \frac{Y}{\sqrt{g_i g_{i+1}}}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n-1 \quad (2)$$

$$Y_{i,i+1} = J_{i,i+1} \sin \theta, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n-1 \quad (3)$$

$$Y_t = Y_1 - \frac{Y_{1,2}^2}{Y_1} \quad (4)$$

$$\theta_t = \frac{\sin^{-1} \left(\sqrt{\frac{Y \sin^2 \theta}{Y_0 g_0 g_1}} \right)}{1 - \frac{FBW}{2}} \quad (5)$$

$$C_t = \frac{\cos \theta_t \sin^3 \theta_t}{\omega_0 Y_t \left(\frac{1}{Y_0^2} + \frac{\cos^2 \theta_t \sin^2 \theta_t}{Y_t^2} \right)} \quad (6)$$

여기서 **FBW**는 **fractional** 대역폭, g_i 는 **prototype** 저역 통과 필터의 소자값, Y_t 는 **tap** 선로가 있는 공진기의 입·출력단의 어드미턴스, C_t 는 **tap**에 의해서 입·출력 공진기에 추가되는 캐패시턴스이다. **Coupled** 선로의 **even** 모드 임피던스와 **odd** 모드 임피던스는 다음과 같이 구할 수 있다[6].

$$Z_{0e1,2} = \frac{1}{Y_1 - Y_{1,2}}, \quad Z_{0o1,2} = \frac{1}{Y_1 + Y_{1,2}} \quad (7)$$

$$Z_{0ei,i+1} = \frac{1}{2Y_1 - 1/Z_{0ei-1,i} - Y_{i,i+1} - Y_{i-1,i}}, \quad i = 2, 3, \dots, n-2 \quad (8)$$

$$Z_{0oi,i+1} = \frac{1}{2Y_{i,i+1} + 1/Z_{0oi,i+1}}, \quad i = 2, 3, \dots, n-2 \quad (9)$$

$$Z_{0en-1,n} = \frac{1}{Y_1 - Y_{n-1,n}}, \quad Z_{0on-1,n} = \frac{1}{Y_1 + Y_{n-1,n}} \quad \dots (10)$$

여기서 $Z_{0ei,i+1}$ 과 $Z_{0oi,i+1}$ 은 각각 i 번째 공진과 $i+1$ 번째 공진기에 의해서 구성되는 **coupled** 선로의 **even** 모드 임피던스와 **odd** 모드 임피던스이다. 공진기의 길이는 다음으로부터 구할 수 있다[7].

$$l_i = \lambda_{g0i}/4 - \Delta l_i \quad (11)$$

$$\lambda_{g0i} = \lambda_0 (\sqrt{\epsilon_i^e \epsilon_i^o})^{-1/2} \quad (12)$$

$$l_1 = l_n = \lambda_{g01}/4 - \Delta l_1 + \Delta l_c \quad (12)$$

$$\Delta l_c = \frac{\lambda_{g01}}{2\pi} \tan^{-1} \left(\frac{2\pi f_0 C_t}{Y_1} \right)$$

$$l_t = \frac{\theta_t}{2\pi} \lambda_{g01} \quad (13)$$

여기서 λ_{g0i} 는 도파선로의 파장, Δl_i 는 i 번째 공진기의 open end 효과에 의한 등가 선로의 길이, λ_0 는 자유공간에서 파장이며, $\epsilon_i^e, \epsilon_i^o$ 는 각각 i 번째 공진기의 even과 odd 모드 유효유전율이다. Interdigital 필터의 설계과정을 정리하면 그림 2와 같다.

필터의 설계에는 taconic사의 TLC-32(유전율: 3.2, h: 0.78mm) 기판을 이용하였다. 중심주파수가 4.05GHz, FBW가 0.3이며, 0.5dB 리플을 갖는 Chebyshev 5차 필터로 low band 필터를 설계한 후, ADS 모뎀으로 시뮬레이션한 결과는 그림 3과 같다. 그림 4는 low band 3번 채널필터를 설계한 것으로 중심주파수를 4.45GHz, FBW를 0.08로 설계한 후 시뮬레이션한 결과이다.

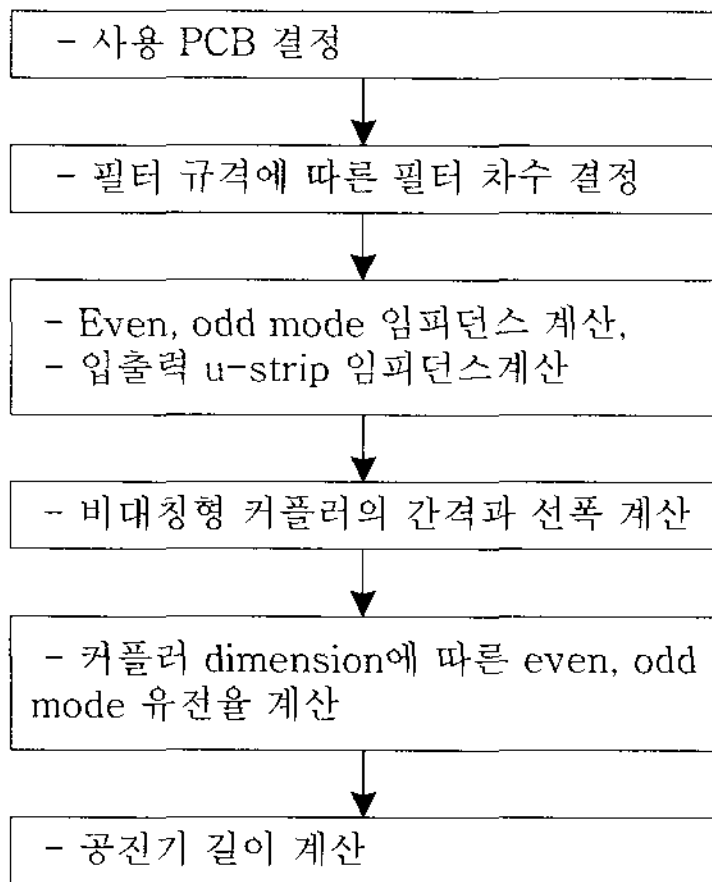


그림 2. Interdigital BPF 설계 과정
Figure 2. Design procedures of interdigital BPFs

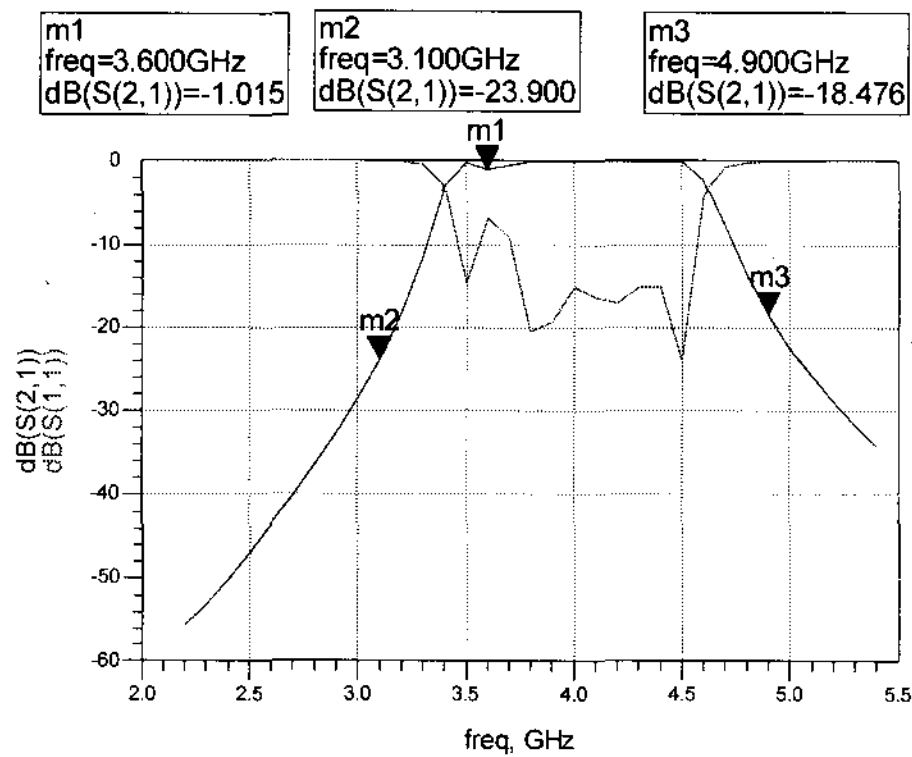


그림 3. Low band 필터의 시뮬레이션 결과
Figure 3. Simulation results of the low band filter

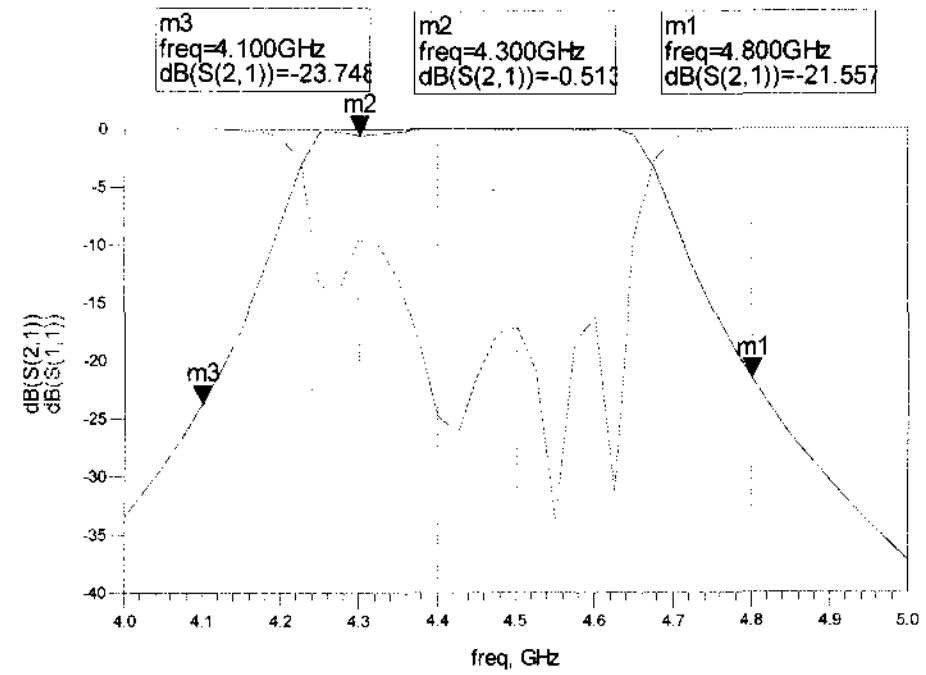


그림 4. Low band 3번 필터의 시뮬레이션 결과
Figure 4. Simulation results of the third channel filter in the low band

III. 시험 결과

그림 5는 low band 필터의 성능 측정 결과이다. 측정 결과 3.1GHz와 4.8GHz에서 각각 21.85dB와 17.91dB의 감쇠특성을 가지며, -10dB 대역폭은 1.53GHz, 삽입손실은 2dB이었다. Low band는 500MHz 대역폭을 갖는 3개의 채널이 할당 가능하다. Low band 2번 채널은 타시스템에 바로 인접한 주파수가 아니기 때문에 방사규격을 만족하기 쉽다. 따라서 논문에서는 low band 1번과 3번 채널필터만을 설계·제작하였다. 그림 6과 그림 7은 low band 채널필터의 성능을 측정된 결과이다. Low band의 1번 채널필터는 성능 측정결과 3.1GHz에서 24.85dB의 감쇠특성, -10dB 대역폭은 0.61GHz, 삽입손실은 1.87dB로 측정되었다. 그림 7은 low band의 3번 채널필터의 측정결과로서 4.8GHz에서 19.2dB의 감쇠특성을 가지며, -10dB 대역폭은 0.49GHz이고, 2.49dB의 삽입손실을 갖는다. 제작한 low band 필터와 low band 3번 채널필터의 사진은 그림 8과 같다. 그림 8로부터 대역폭이 넓을수록 coupling이 많아야 하기 때문에 공진기들 사이의 간격이 좁아짐을 알 수 있다.

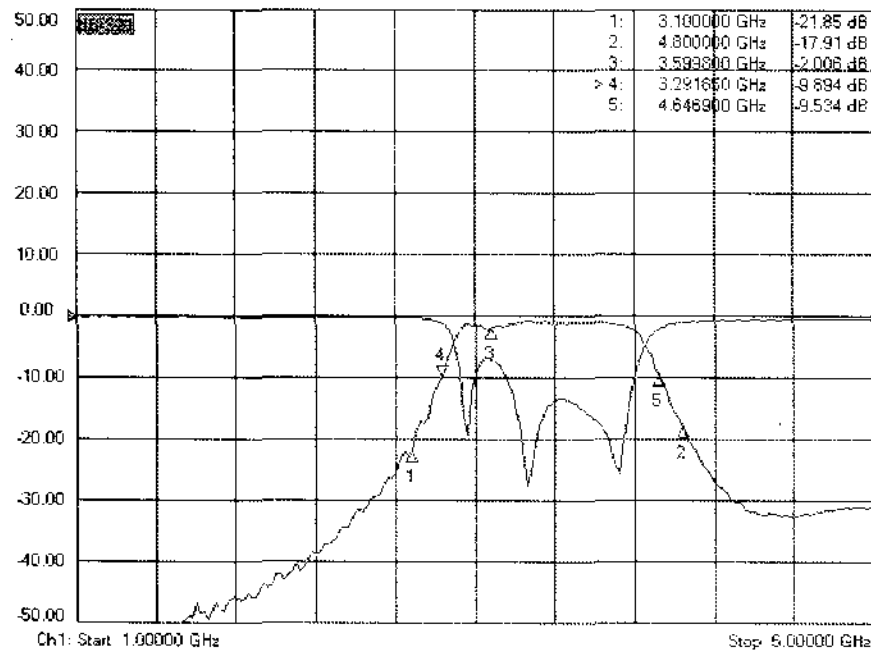
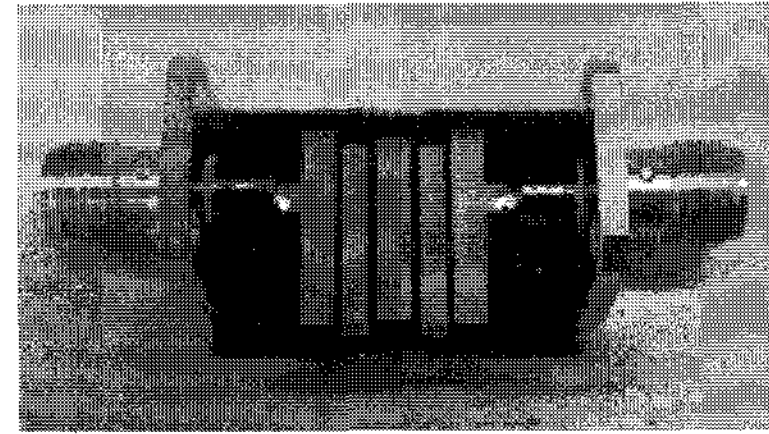
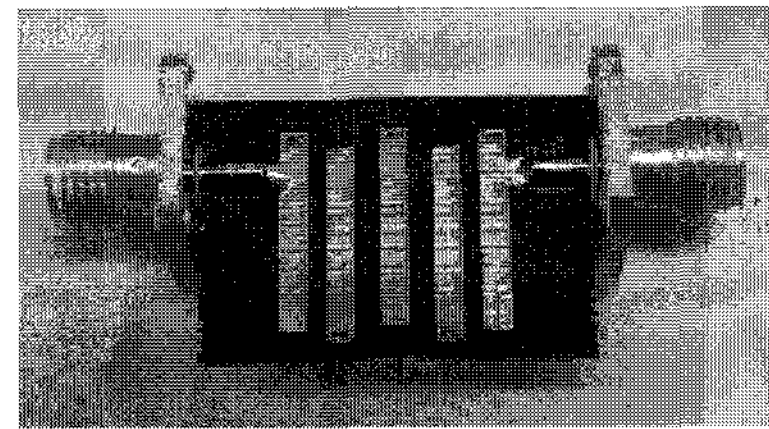


그림 5. Low band 필터의 S21과 S11 특성
Figure 5. S21 and S11 characteristics of the implemented low band filter



(a) Low band 필터



(b) Low band 채널필터

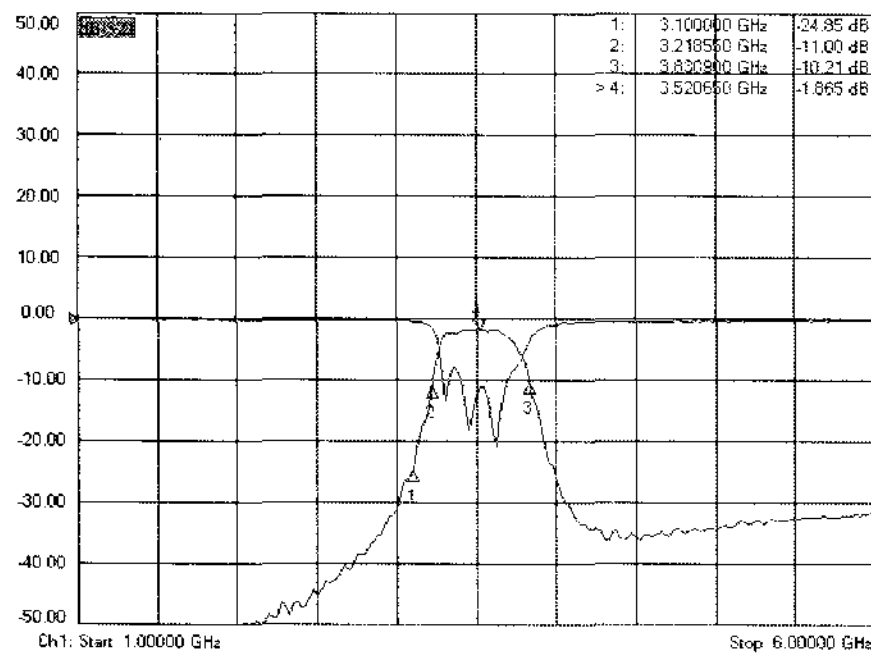


그림 6. Low band 1번 채널 필터의 S21과 S11 특성
Figure 6. S21 and S11 characteristics of the first channel filter in the low band

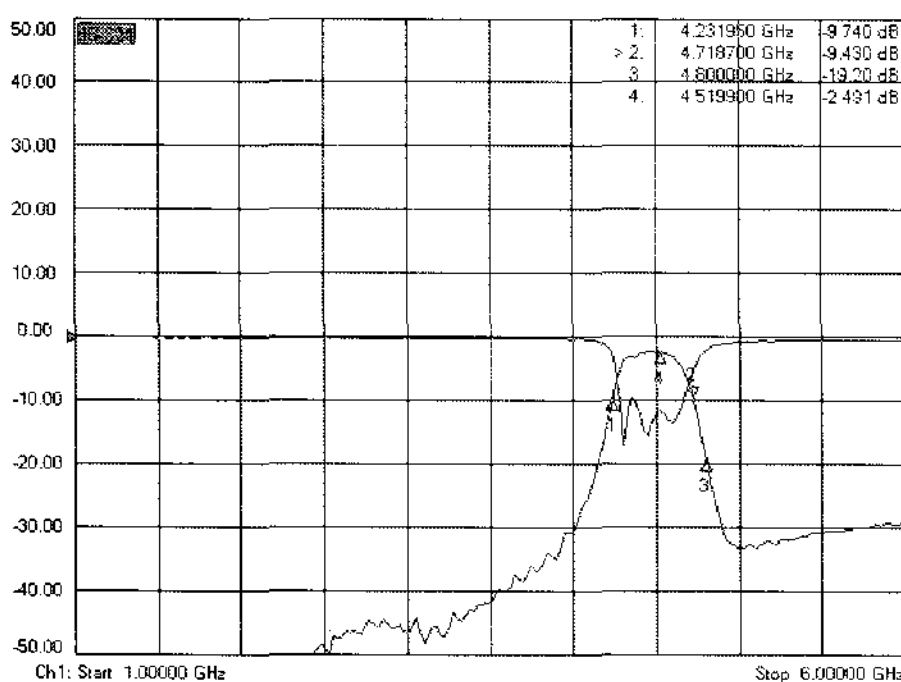


그림 7. Low band 3번 채널 필터의 S21과 S11 특성
Figure 7. S21 and S11 characteristics of the third channel filter in the low band

그림 8. 구현한 필터의 사진
Figure 8. The photograph of the implemented filters

IV. 결론

Low band 통신용 UWB를 위한 low band 대역필터와 채널필터를 설계·구현하였다. 성능 측정결과 low band 대역필터는 3.1GHz와 4.8GHz에서 각각 21.85dB와 17.91dB의 감쇠특성을 가지며, -10dB 대역폭은 1.53GHz, 삽입손실은 2dB이었다. Low band의 1번 채널필터는 3.1GHz에서 24.85dB의 감쇠특성, -10dB 대역폭은 0.61GHz, 삽입손실은 1.87dB로 측정되었다. Low band의 3번 채널필터는 4.8GHz에서 19.2dB의 감쇠특성을 가지며, -10dB 대역폭은 0.49GHz이고 2.49dB의 삽입손실은 갖는다. 본 논문에 기술한 설계과정은 UWB 시스템뿐만 아니라 광대역 BPF를 필요로 하는 시스템에 효과적으로 이용될 수 있다.

참고문헌

- [1] FCC, Part 15 - Radio Frequency Devices, Feb. 2006.
- [2] EN 302 065, "Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters(ERM); Ultra WideBand technologies for communication purposes; Harmonized EN covering

sequential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive," ETSI, April 2007.

- [3] 전파연구소 고시 제2007-22호: 초광대역(UWB) 무선 기기 기술기준 제정(안).
- [4] G.L. Matthaei, "Interdigital Band-pass Filters," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 10, no. 6, pp. 479-491, Nov. 1962.
- [5] S. Caspi and J. Adelman, "Design of combline and interdigital filters with tapped-line input," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 36, no. 4, pp.759-763, April 1988.
- [6] V. K. Tripathi, "Asymmetric Coupled Transmission Lines in an Inhomogeneous Medium," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 23, no. 9, pp. 734-739, Sep. 1975,
- [7] Jia-Sheng Hong and M. J. Lancaster, Microstrip Filters for RF/Microwave Applications, Jhon Wiley & Sons, 2001.

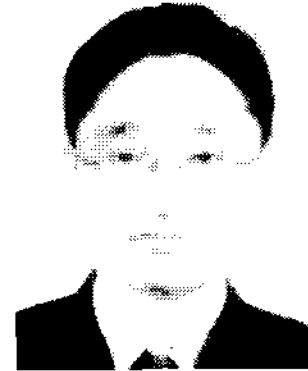
저자소개

강 상 기(Sanggee Kang)



1988년 단국대학교 전자공학과(공학사)
 1989년 삼성반도체통신
 1989 ~ 1992 해군통신장교
 1994년 단국대학교 전자공학과(공학석사)
 2004년 충남대학교 전파공학과(공학박사)
 1994 ~ 2005 한국전자통신연구원 선임연구원
 2005 ~ 현재 군산대학교 전자정보공학부 조교수
 ※ 관심분야: RF/MW 부품 및 시스템

이 재 명(Jaemyung Lee)



1993년 단국대학교 전자공학과(공학사)
 2004년 단국대학교 정보통신공학과
 (공학석사)

1997년 ~ 현재 (주)로스윈 이사
 ※ 관심분야: 초고주파 회로, 부품 및 시스템

홍 성 용(Sungyong Hong)



1985년 충남대학교 전자공학과(공학사)
 1988년 한국과학기술원 전기 및 전자
 공학과(공학석사)

1994년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)
 1996년 9월~현재: 충남대학교 전파공학과 교수
 ※ 관심분야: 초고주파 회로