

# WLAN 주파수 대역이 억제된 DS-UWB 임펄스 생성기 구현

## Implementation of DS-UWB Impulse Generator with Suppression of Frequency Band for WLAN

박종대\*, 김범주\*, 김동호\*

Chong-Dae Park\*, Bum-Joo Kim\* and Dong-Ho Kim\*

### 요 약

본 논문에서는 FCC의 방사 스펙트럼 제한 규정에 따라 5 GHz-WLAN 주파수 대역을 억제한 DS-UWB 가우시안 임펄스 생성기를 제안하고, 이를 실험적으로 구현하였다. 단극 구형파를 가우시안 임펄스로 변환하기 위해 SRD를 이용한 첫 번째 임펄스 생성기와 반도체 레이저의 이득 스위칭을 이용한 두 번째 임펄스 생성기로 구성된 2단 구조의 임펄스 생성기를 사용하였다. 출력된 가우시안 임펄스의 폭은 약 180 psec로 매우 짧다. 또한 WLAN 주파수 대역을 제거하기 위해 4단 링 공진기 구조의 고차 미분 가우시안 필터를 설계 및 제작하여 최종적으로 WLAN 신호 대역은 약 25 dB의 억제 효과를 갖는 DS-UWB 신호의 발생기를 실험적으로 구현하였다.

### Abstract

In this paper, Gaussian impulse generator for DS-UWB was proposed and fabricated so that the frequency band allocated to WLAN, around 5 GHz, was suppressed in accordance with the regulation of radiation spectrum limitation defined by FCC. In order to transform an unipolar rectangular signal to a Gaussian impulse, the proposed impulse generator consists of two stage impulse generation parts; the first stage using dual SRD and the second stage using gain switching of semiconductor laser diode. The result shows a gaussian impulse as narrow as 180 psec in width. In addition, high order derivative Gaussian filter with a structure of 4 stage ring resonators was designed and fabricated so that DS-UWB impulse generator could reduce the frequency spectrum of WLAN by 25 dB compared to the spectral power of th adjacent UWB band.

Key words : DS-UWB, high order derivative filter, Gain-switching, Gaussian pulse, SRD, WLAN

### I. 서 론

DS-UWB(direct sequence-ultra wideband) 시스템은 그림 1에서와 같이 WLAN을 위해 할당된 5 ~ 6 GHz 대역을 제외한 3.1 ~ 10.6 GHz 주파수 대역을 점유하는 극히 짧은 펄스를 사용하는 방식으로,

넓은 스펙트럼을 바탕으로 낮은 전력수준에서 고속의 데이터 전송이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 현재 DS-UWB 신호의 전송을 위해 Gaussian pulse, Gaussian monocycle[1], Rayleigh monocycle[2], MHPO (modified Hermite polynomial orthogonal monocycles)[3] 등과 같이 모노 사이클 형태의 가

\* 명지대학교 전자공학과(Dept. of Electronics Eng., Myongji University)

· 제1저자 (First Author) : 박종대

· 접수일자 : 2006년 2월 2일

우시안 펄스를 사용하는 방식들이 제안되었으나, 이러한 형태의 펄스들은 5 ~ 6 GHz WLAN 주파수 성분을 포함하고 있기 때문에 FCC에서 규정하는 UWB 방사 스펙트럼 제한 규정을 만족시킬 수 없다. 따라서 현재의 방사제한 규정 뿐 만 아니라, 향후 특정 주파수에 대한 방사 전력 제한을 강화 할 경우 앞에서 소개한 펄스 발생기들은 이러한 방사 전력 제한 규정을 만족하기 힘들기 때문에 펄스형태를 유지하면서도 특정주파수 성분을 제거할 수 있는 펄스발생기가 필요하다.

이를 위해, 최근 고차 미분 가우시안 펄스를 사용하는 방식이 제안되었으나[4], 국내에서는 아직까지 이에 대한 실험적인 연구결과가 발표되지 않고 있다.

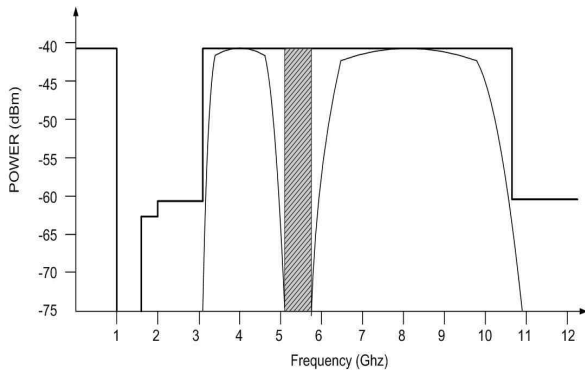


그림 1. DS-UWB 시스템의 방사전력을 제한하는 FCC 스펙트럼 마스크

Fig. 1. FCC spectral mask to limit the radiation power of DS-UWB system.

본 논문에서는 기존의 연구[4],[5]와는 달리, DC 바이어스 회로를 이용하지 않고 단일 극성의 TTL 디지털 신호에 대한 UWB 임펄스 신호 생성이 가능하며, 링 공진기 구조의 대역통과 필터의 미분 특성에 의해 펄스 형태를 유지하는 고차 미분 UWB 가우시안 펄스를 구현하였다. 또한 WLAN용 5 ~ 6 GHz 주파수 대역이 제거된 펄스형 UWB 신호 생성기를 국내 최초로 구현하였다. 본 연구에서 제안하고 구성된 고차미분 가우시안 UWB-펄스 발생기의 전체 구조도는 그림 2와 같이 단극형 TTL 디지털 펄스 발생기, 2 단계로 구성된 임펄스 발생기 및 다단 링 구조의 고차미분 밴드패스 필터부로 구성하였다.

II장에서는 가우시안 임펄스 발생기에 대해 설명하고, III장에서는 다단 링공진 밴드패스 필터를 이용

한 고차 미분 가우시안 UWB-펄스 발생기의 설계 및 실험에 대하여 기술하였다.

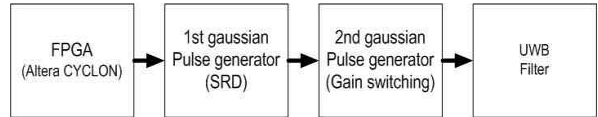


그림 2. 고차 미분 UWB 가우시안 펄스 발생기 구조  
Fig. 2. Structure of high order derivative UWB Gaussian pulse generator.

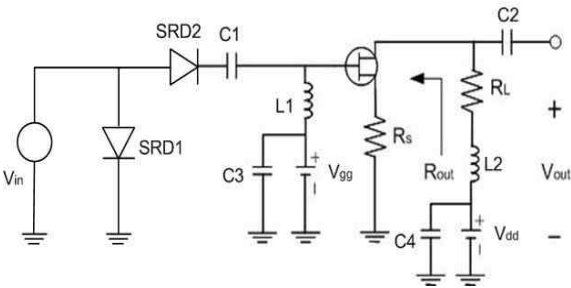
## II. 가우시안 임펄스 발생기

### 2-1 SRD를 이용한 1차 임펄스 발생기

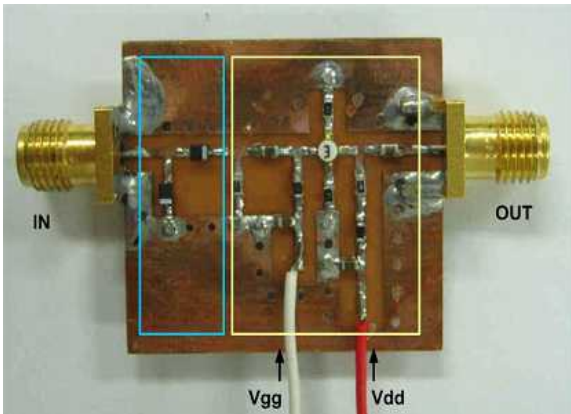
1차 임펄스 발생기의 입력신호는 FPGA를 사용하여 3.3 V<sub>p-p</sub>의 크기를 갖는 100 Mbps의 단극 구형파를 사용하였다. 단극 구형파 입력에 대하여, DC 바이어스 회로가 불필요한 구조의 SRD를 이용한 가우시안 임펄스 발생부와 FET를 이용한 임펄스 변환부는 그림 3 (a)와 같이 설계되었으며, 제작된 1차 임펄스 발생기는 그림 3 (b)와 같다.

본 연구에 사용된 SRD를 이용한 1차 임펄스 발생기 출력의 펄스폭은 약 500 psec의 임계 값을 갖는다. 따라서 보다 좁은 펄스폭을 갖는 가우시안 임펄스를 생성하기 위해, 그림 2에서와 같이 반도체 레이저의 이득 스위칭 방법을 이용한 2차 가우시안 임펄스 생성기를 사용하였다. 이 경우 반도체 레이저를 구동하기 위해, 1차 임펄스 발생기 출력 신호의 극성 반전과 전류 증폭을 위해 소스 궤환 저항의 크기를 최적화한 광대역 증폭기를 설계하였다. 이를 위해 NEC사의 MESFET인 NE76084를 사용하였다. 그림 3 (b)에서와 같이 1차 임펄스 발생기는 두께 0.4 mm/유전율 4.4인 FR4 기판을 사용하였으며 최종적으로 30×28 mm의 크기로 제작되었다.

1차 가우시안 임펄스 발생기의 설계 및 최적화를 위해 SRD와 FET의 특성을 모델화 하였으며, 이를 위해 Ansoft사의 Designer를 사용하였다. 그림. 3 (a)에서 최종적으로 설계되고 제작에 사용된 수동 소자들의 값은 다음과 같다. (C1, C2, C3, C4 = 1 nF, L1, L2 = 100 nH, R<sub>S</sub> = 6Ω, R<sub>L</sub> = 300 Ω).



(a) 제안된 회로도  
(a) Proposed schematic circuit diagram



(b) 제작된 임펄스 발생기  
(b) Fabricated impulse generator

그림 3. 가우시안 1차 임펄스 발생기  
Fig. 3. Gaussian 1st stage impulse generator.

병렬 구조의 SRD 회로를 통해 생성된 임펄스는 그림 4와 같이 임펄스의 크기는  $-630\text{ mV}$ 로 인가된 구형파의 역위상의 특성을 보여준다. 임펄스의 반치 선포는 약  $480\text{ psec}$ 로 측정되었으며, 이는 SRD의 특성상 임계값에 해당한다.

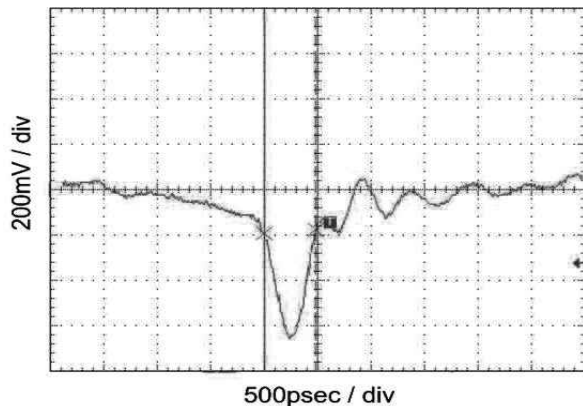
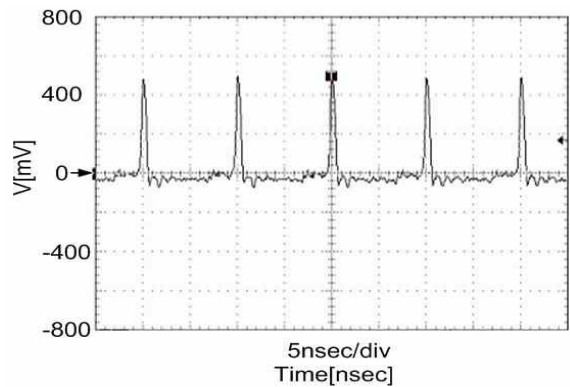
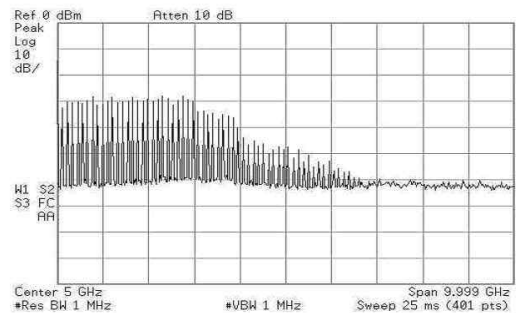


그림 4. SRD 회로의 임펄스 출력 파형  
Fig. 4. Impulse output waveform of SRD circuit.

그림 5에서 보여준  $10\text{ nsec}$ 의 주기를 갖는 펄스 반전 회로의 출력 파형은 그림 4에서 보여준 SRD의 출력 파형과 유사하나, SRD의 출력 파형에 비해 반전되었다. 또한 임펄스의 크기는  $500\text{ mV}$ 로 약간 감소하였으나, 2차 가우시안 임펄스 생성기의 반도체 레이저를 구동하기 위해 필요한 전류를 FET 증폭기의 출력으로부터 공급받을 수 있다. 약  $500\text{ psec}$ 의 펄스폭을 갖는 1차 가우시안 펄스 생성기의 출력은 그림 5 (b)와 같이 스펙트럼의 전력밀도가  $3\text{ GHz}$  이후 급격히 감소한다.



(a) 가우시안 임펄스 파형  
(a) Gaussian impulse waveform



(b) 가우시안 임펄스의 주파수 스펙트럼  
(b) Frequency spectrum of Gaussian impulse

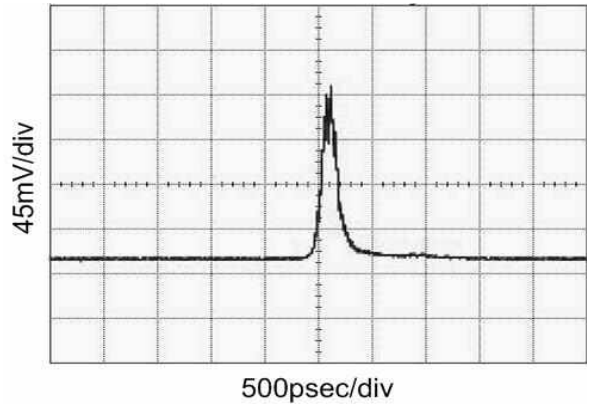
그림 5. 측정된 1차 가우시안 펄스 발생기의 출력  
Fig. 5. Measured output of 1st Gaussian impulse generator.

따라서 SRD로 구성된 1차 가우시안 펄스 생성기는  $7.5\text{ GHz}$ 의 초광대역 밴드 폭을 사용하는 DS-UWB 시스템에 적합하지 않기 때문에 보다 높은 주파수까지 일정한 전력밀도를 얻기 위해 이득 스위칭 기술을 사용한 2차 가우시안 펄스 생성기를 구성하였다.

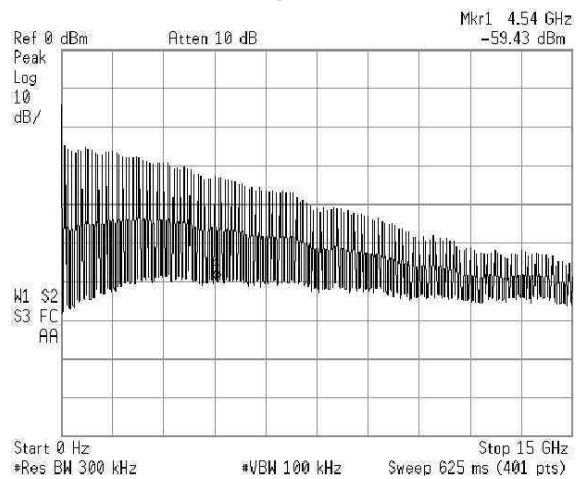
2-2 이득 스위칭을 이용한 2차 가우시안 임펄스 발생기

1차 임펄스 발생기의 출력으로부터 7.5 GHz 이상의 초광대역 DS-UWB 신호를 얻기 위해, 본 연구에서는 반도체 레이저의 이득 스위칭 기법[6] 이용한 2차 가우시안 임펄스 생성기를 구현하였다.

이득 스위칭은 1 nsec 이하의 펄스폭과 임계전류 이상의 세기를 갖는 전류신호를 반도체 레이저에 인가할 경우, 레이저의 초기 광자 밀도가 매우 작기 때문에 캐리어 밀도는 순간적으로 정상상태의 밀도보다 훨씬 높아지게 된다. 이러한 캐리어 밀도의 증가는 큰 이득을 유기하여 광자밀도가 급격히 증가하게 된다. 이후, 순간적으로 증가된 광자밀도는 캐리어를 공핍시켜 레이저의 출력은 다시 갑자기 줄어들게 되어, 결국 인가된 전류펄스의 폭과 반도체 레이저의 속도에 비해 매우 짧은 가우시안 형태의 임펄스 광신호를 발생시킬 수 있다. 따라서 이러한 이득 스위칭 기술을 2차 가우시안 펄스 발생기에 적용하게 되면 초광대역 주파수 성분을 갖는 극초단 펄스를 발생시킬 수 있다. 2차 가우시안 임펄스 생성기를 위해 1550 nm 발진 파장과 7.5 mA의 임계 전류를 갖는 2.5 Gbps의 DFB-LD를 사용하였다. 또한 광대역의 광펄스 신호를 전기적 신호로 변환하기 위해 Newport사의 D-15 High-speed photo detector를 사용하여 DCA 86100A 광대역 샘플링 스코프로 측정하였다. 2차 가우시안 임펄스 출력 파형은 그림 6 (a)와 같이 반치 전폭이 180 psec로 줄어든 것을 확인 할 수 있었으며, 크기는 약 160 mV로 측정되었다. E4408B 주파수 분석기로 측정된 가우시안 임펄스의 주파수 스펙트럼은 그림 6 (b)와 같이 DC쪽에서의 파워는 -25 dBm인 반면, 주파수가 올라감에 따라 서서히 감소하여 3 GHz에서 -28 dBm, 12 GHz에서 -52 dBm의 출력 파워를 얻을 수 있었다. 그림 6 (b)의 측정된 결과를 통해 3 ~12 GHz 영역의 파워는 약 -6 dB/octave 기울기를 가지며 감소함을 알 수 있었다. 따라서 이득 스위칭을 통해 얻어진 그림 6의 임펄스를 1차 미분기인 1차 고주파 필터를 통과 시킬 경우, DS-UWB의 전영역인 3.1 ~ 10.7 GHz 대역에서 10 dB 이내의 균일한 스펙트럼이 가능하다[7].



(a) 가우시안 임펄스 파형  
(a) Gaussian impulse waveform



(b) 가우시안 임펄스의 주파수 스펙트럼  
(b) Frequency spectrum of Gaussian impulse

그림 6. 2차 가우시안 임펄스 발생기의 출력  
Fig. 6. Output of 2nd Gaussian impulse generator.

III. DS-UWB를 위한 고차 미분 필터

FCC에서는 DS-UWB 대역을 3.1 GHz에서 10.6 GHz 대역으로 설정 하였으며, 방사 전력 스펙트럼 밀도를 -41.3 dBm으로 제한하고 있다. 또한 5.1 ~ 5.8 GHz대역은 WLAN에서 사용하므로 보다 낮게 방사 전력을 제한해야한다. 멀티밴드 UWB의 경우 5 GHz WLAN 대역이 포함된 그룹을 제외시켰으므로 문제되지 않으나 DS-UWB의 경우 5 GHz 대역의 WLAN 대역을 포함하고 있으므로, 이를 저지하는 필터가 설계 되어야 한다. 본 논문에서는 스텐브가 부가된 링 공진기 구조를 이용하여 5.1~5.8

GHz의 저지 대역을 갖는 UWB 대역통과 필터를 설계하였다. 단일 링 공진기는 노치 필터의 특성을 가지며 두 개의 감쇠 폴을 갖는다[8]. 또한 링 공진기는 구조가 간단하고 삽입손실이 낮은 장점을 가지고 있다. 스테브가 부가된 링 공진기 필터는 링의 지름에 따라 감쇠 폴 점의 위치가 결정되며, 스테브의 특성 임피던스의 변화에 따라 감쇠 폴 점의 위치가 변화하게 된다. 감쇠 폴을 저주파대역으로 이동시키기 위해서는 스테브의 크기가 커지게 되며, 따라서 회로의 크기를 줄이면서 저주파 대역을 효과적으로 억제하고, 앞 절에서 기술한 바와 같이 UWB 대역의 스펙트럼의 세기를 균일하게 하기 위해 필터의 앞단에 HPF를 삽입하였다. 그림 7은 제작된 필터의 제작된 결과이고, 표 1은 각 링공진기의 stub의 특성 임피던스와 전기적 길이를 표시하였다. 제작된 기판의 유전율은 4.4이고 두께 0.8 mm인 FR4이며, 크기는 약 100X20 mm<sup>2</sup>로 제작 되었다.

표 1. 스테브의 특성 임피던스와 전기적 길이  
Table 1. Characteristic impedance and electrical length of stub.

	stub 1	stub 2	stub 3	stub 4
특성 임피던스 (Ω)	93.12	10.26	5	108.34
전기적 길이 (degree)	74.27	89.37	114.9	67.46

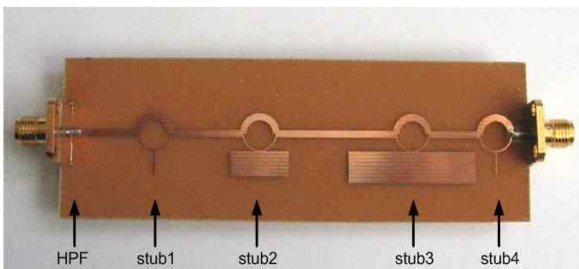


그림 7. 제작된 DS-UWB용 고차 미분 필터  
Fig. 7. Fabricated high order derivative filter for DS-UWB.

필터의 특성을 확인하기 위해 ADS와 HFSS를 사용하여 최적화를 하였고, 시뮬레이션 결과는 그림 8과 같다. 시뮬레이션 결과 설계된 필터의 S<sub>21</sub>특성은 3.1 ~ 10.7 GHz 대역에서 FCC의 스펙트럼 마스

크를 만족시키며, WLAN 대역은 두 개의 폴이 존재하며 -20 dB 이하의 저지 특성을 보였다. 그림 9는 네트워크 분석기 8720ES로 측정된 필터의 S<sub>21</sub> 측정 결과와 설계를 통해 얻어진 S<sub>21</sub>이다. 측정값의 경우 통과 대역의 삽입손실이 시뮬레이션 값에 비해 2 dB정도 더 크게 나타났으며 저지대역이 5.2 ~ 6.1 GHz로 약간 이동하였다. 또한 11 GHz 부근의 상위 대역이 FCC의 스펙트럼 마스크를 약간 벗어난 것을 볼 수 있다. 측정된 고차 미분 가우시안 필터의 특성이 전산모의된 특성에 비해 5 GHz 이상에서 약 2 dB의 추가적인 삽입손실이 발생한 것은 광대역 주파수에서 사용된 FR4 기판의 특성에 인한 것으로 판단된다.

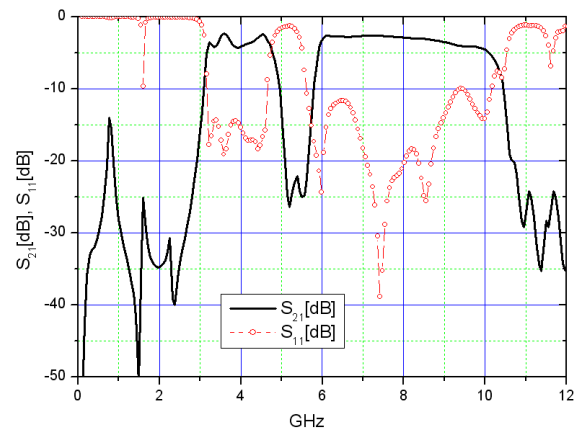


그림 8. DS-UWB용 고차 미분 필터의 전산모의 결과  
Fig. 8. Simulation result of high order derivative filter for DS-UWB.

이는 FR4 기판이 주로 5 GHz 이하에서는 Simulator에서 충분히 그 특성을 보상하여 실험값과 설계 값의 오차를 줄일 수 있으나, 그림 9에서와 같이 주파수가 5 GHz 이상으로 증가할수록 설계 값에 비해 삽입 손실과 공진 주파수간의 차이가 심화됨을 알 수 있다. 비록 일부 주파수 영역에서의 추가적인 삽입손실이 발생하였지만 FCC의 규정은 방사 전력이기 때문에 본 연구에서는 주파수에 따른 S<sub>21</sub>의 상대적인 값의 변화에 중요성을 부과한다.

이런 점에서 측정된 고차 미분 가우시안 필터는 대부분의 주파수 영역에서 FCC 방사조건에 일치하며, 특히 DS-UWB 전영역을 균일하게 전달특성과 WLAN 영역주파수의 억제 효과를 충분히 만족한 것으로 판단된다.

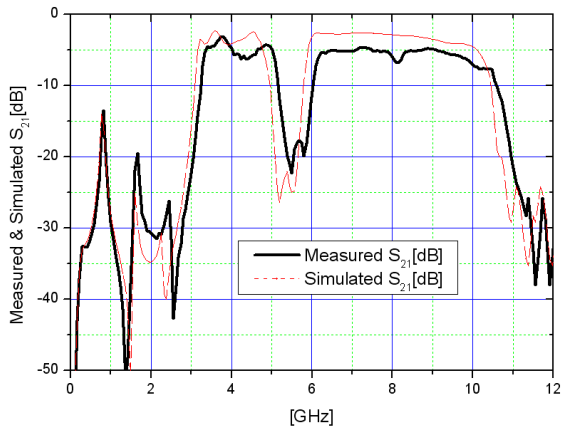
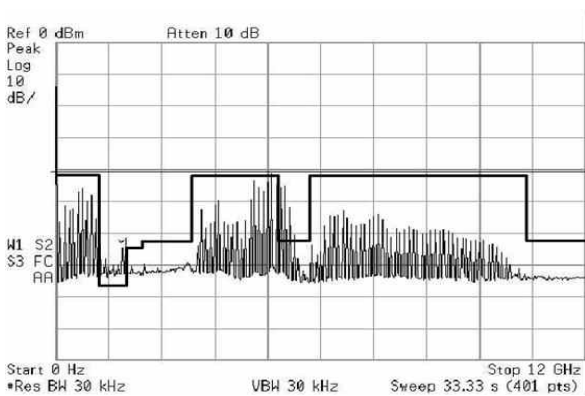
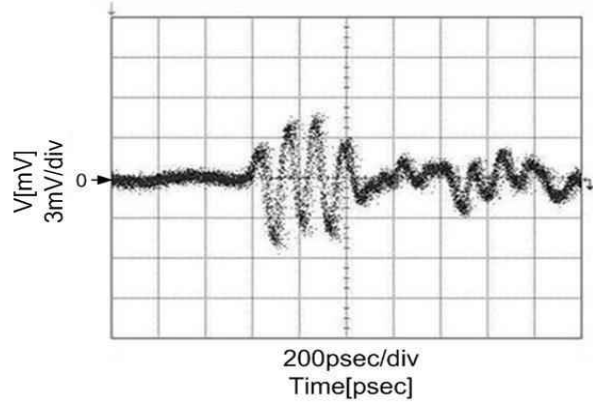


그림 9. 고차 미분 필터의 측정 및 설계값  
 Fig. 9. Measured and simulated data of high order derivative filter.

그림 6 (a)의 2차 임펄스 생성기의 출력을 그림 7의 고차 미분 가우시안 필터를 통과한 후의 출력 펄스에 대한 특성은 그림 10에 나타내었다. 비록 안테나를 통한 방사전력 특성이 아닌 임펄스 생성기의 출력 특성이지만, 그림 10 (a)에서와 같이, FR4 기판을 사용에 따라 발생된 필터 특성의 오차에도 불구하고 WLAN 영역의 주파수 억제 효과는 25 dB 이상의 우수한 특성을 보여주고 있다. 고차 미분 가우시안 펄스의 형태는 그림 10 (b)와 같이 펄스폭은 약 600 psec 크기는 약 11 mV<sub>p-p</sub> 로 측정되었으며, 펄스의 뒤쪽으로 약 3 mV 정도의 크기를 갖는 링잉 현상이 1.2 nsec 정도 나타났다. 이 또한 FR4를 이용함으로써 인한 비선형 위상 특성에 따른 group delay가 영향을 미친 것으로 판단된다.



(a) 측정된 주파수 스펙트럼  
 (a) Measured frequency spectrum



(b) 측정된 임펄스 파형  
 (b) Measured impulse pattern

그림 10. 측정된 고차미분 DS-UWB 가우시안 임펄스  
 Fig. 10. Measured data of high order derivative DS-UWB impulse.

#### IV. 결 론

UWB 시스템은 다른 무선 시스템들과 주파수를 공유하는 방식으로 공유되는 주파수에서 방사 제한을 지키지 못할 경우 다른 무선 시스템의 어려움을 높이는 결과를 가져오게 된다. 따라서 실내 무선 환경에서 UWB시스템이 다른 무선 시스템들과 공존하기 위해서는 이러한 방사 전력 제한을 만족해야 한다. 또한 특정 주파수에 대한 규제가 강화 될 경우 유동적으로 방사 전력 제한 규정을 만족시킬 수 있어야 한다. 기존에 제안된 펄스들은 고정된 스펙트럼 특성을 가지고 있으므로 특정 주파수 성분을 제거하기에 용이하지 못하며, 필터를 통해 이러한 주파수 성분을 억제 할 경우 펄스의 형태를 유지하기 힘들다. 따라서 본 논문에서는 DS-UWB 대역에서 5 ~ 6 GHz의 WLAN대역을 제거함으로써 특정 주파수의 제거가 용이한 고차 미분 가우시안 펄스 발생기를 제작하였다.

#### 감사의 글

본 논문은 학술진흥재단 과제[KRF-2004-041-D00488]의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] R. A. Scholtz, "Multiple access with time-hopping impulse modulation," *Proc. MILCOM*, Oct. 1993.
- [2] J. T. Conroy, J. L. Locicero and D. R. Ucci, "Communication techniques using monopulse waveforms," *Proc IEEE MILCOM'99*, vol. 2, pp. 1185-1191, 1999.
- [3] L. B. Michael, M. Ghavami, and R. Kohno, "Multiple pulse generator for ultra-wideband communication using Hermite polynomial based orthogonal pulses," *IEEE Conf. UWBST'02*, p. 47-50, 2002.
- [4] A. B. Parr, B.L. Cho Z. Ding, "A new UWB pulse generator for FCC spectral masks," *Vehicular Technology Conf.*, vol. 3, pp. 1664-1666, April 2003.
- [5] J. S. Lee and C. Nguyen, "Unipolar picosecond pulse generator using step-recovery diode," *Electronics letters.*, vol. 37, pp. 504-505, April 2001.
- [6] 김윤정, 김동각, 김창민, "LD gain switching에 의한 초단 광 펄스 발생 해석," *전자 공학 회 논문지*, 제34권 D편, 제10호, pp. 85-93, 1997. 10.
- [7] 권순영, 김범주, 박종대, "반도체 레이저의 이득스위칭을 이용한 UWB 임펄스 발생기 설계," *전자공학회 논문지*, 제42권 TC편, 제6호, pp. 61-66, 2005. 6.
- [8] A. C. Kundu and I. Awai, "Control of attenuation pole frequency of a dual mode microstrip ring resonator bandpass filter," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, pp. 1113-1117, June 2001.

박 종 대 (朴鍾大)



1983년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학사)  
 1985년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학석사)  
 1992년 12월 : Arizona State Univ. 전자공학과(공학박사)  
 1986년 9월~1987년 6월 : 한국통신 연구소(전임연구원)  
 1993년 1월~1996년 8월: 전자통신연구원 (선임연구원)  
 1996년 9월~현재 : 명지대학교 전자공학과 부교수  
 관심분야 : UWB, 광대역 수동/능동소자, RFIC, 마이크로웨이브 포토닉스

김 범 주 (金範柱)



2004년 2월 : 명지대학교 전자공학과(공학사)  
 2006년 2월 : 명지대학교 전자공학과(공학석사)  
 관심분야 : 전력분배 / 결합기, 초고주파 발진기, CDMA 단말기 Hardware

김 동 호 (金東昊)



2004년 8월 : 명지대학교 전자공학과(공학사)  
 2004년 9월~현재 : 명지대학교 전자공학과 석사과정  
 관심분야 : UWB용 광대역 수동소자 및 필터 설계, 광대역 증폭기, mixer and oscillator, RFIC