2013년 8월 전자공학회 논문지 제 50 권 제 8 호
Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea Vol. 50, NO. 8, August 2013 http://dx.doi.org/10.5573/ieek.2013.50. 8.299

논문 2013-50-8-36

펄스 충실도 개선을 위한 UWB 안테나 설계기법 연구

(A study on the UWB Antenna Design Techniques for Improving Pulse Fidelity)

김 종 민*, 강 은 균**

(Kim Jung-Min and Kang Eun-Kyun©)

요 약

본 논문에서는 임펄스 방사를 위한 UWB 안테나를 펄스 충실도 및 왜곡율 수식을 유도하고 적용하여 펄스 충실도가 개선된 안테나를 설계하는 방법에 대해 연구하였다. UWB 대역에서 지향성 특성을 갖는 안테나는 낮은 방사손실과, 임펄스 방사왜곡이 최소이어야 한다. 이를 위하여 광대역 임피던스 변환기와 마이크로스트립 슬롯라인 천이부 구조를 갖는 안테나 급전부를 설계하였다. 설계 및 제작된 UWB 안테나는 전파 무반사실에서 방사패턴을 측정하였다. 제작된 UWB 안테나의 임펄스 방사에 의한 펄스충실도는 ±30° 빔폭내에서 93%이상의 개선된 결과를 얻었다.

Abstract

In this paper, design of UWB Antenna which propagate impulse by pulse fidelity and distortion equation was induced and applied. UWB Antenna which has directional characteristic in UWB band should have low radiation loss and impulse radiation distortion. As a result, the paper designed wide band impedance transformer and microstrip slotline transit region structured antenna feeder line. By using the fabricated UWB antenna, the radiation pattern was measured in the radio anechoic chamber. Pulse fidelity of impulse radiation show good results more than 93% within ±30° beam width.

Keywords : UWB, pulse fidelity, distortion equation, wide band impedance transformer, antenna feeder line

Ⅰ. 서 론

UWB 기술의 다양한 가능성에 비해 안테나는 여전히 해결해야 할 과제로서 주파수 영역과 시간영역 모두에서 만족할만한 성능을 제공할 수 있어야 한다.

안테나에서의 펄스충실도 및 왜곡은 GPR(Ground Penetration Rader), 비파괴 탐상 레이더와 같은 임펄스 신호 방사 시스템을 포함하여, 정밀 측위와 같은 초광대역 임펄스 신호를 송, 수신 하는 통신 시스템에 심각한 측정 및 통신 오류를 발생시킬 수 있다. 따라서 최소 왜곡의 높은 펄스 충실도를 갖는 UWB 안테나가 요구된다[2, 5, 8, 12].

본 논문에서는 UWB 대역에서 동작하는 비파괴탐상 레이더 및 위치정밀추적 시스템에서 사용하기 위한 소형의 UWB 안테나를 설계 및 제작하고, 전파무반사실에서 방사패턴을 측정하였으며, 시간영역에서 임펄스 방사 성능을 정량적으로 평가하기 위해 펄스충실도 식과 왜곡율 수식을 유도하였다. 설계된 슬롯 안테나의 펄스충실도는 시간영역 분석이 가능한 CST microwave studio를 이용하였다. 또한 네트워크 측정된 스펙트럼

* 정회원, 광운대학교 전자공학과
(Dept. of Electronic Engineering, KWANG WOON University)
** 정회원, 유한대학 전자정보과
(Dept. of Electronic & Engineering, YUHAN College)
© Corresponding Author(E-mail: ktejin@daum.net)
접수일자: 2013년6월2일, 수정완료일: 2013년7월22일

데이터를 시간영역 신호로 변환하기 위해 IDFT (Inverse Discrete Fourier Transform)를 수행하였다. IDFT 수행을 통해 도출된 두 안테나 링크에 대한 시간영역 데이터를 이용하여 임펄스 왜곡, 충실도 등의 분석을 수행하였다[4~6, 9].

II. 펄스충실도 및 왜곡분석

UWB 슬롯 안테나의 시간영역 동작특성을 분석하기 위해, 한 쌍의 동일한 안테나를 그림 1과 같이 자유공간에서 서로 Far Field 조건[2]를 만족시키도록 이격거리 1.0m에서 무선 링크를 구성하였다. 그림 1에서 좌측은 송신안테나, 우측은 수신안테나로 동작한다.

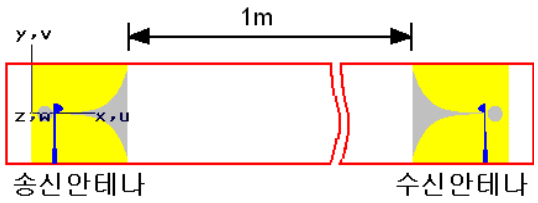


그림 1. CST를 이용한 시간영역 시뮬레이션
Fig. 1. Time domain simulation using CST studio.

대부분의 시스템에서, 송신신호 $s_{TX}(t)$와 수신신호 $s_{RX}(t)$ 사이의 상대적인 비교는 상관함수(Correlation Function) $C_{TRX}(\tau)$를 이용하여 표현된다[3~4, 10].

$$C_{TRX}(\tau)=\int_{-\infty}^{+\infty} s_{TX}(t)s_{RX}(t-\tau)d\tau \qquad (1)$$

여기서 τ는 시간영역에서 두 신호의 상호 의존도를 나타내며, 상관함수 $C_{TRX}(\tau)$는 τ뿐만 아니라 두 신호의 모양과 크기에 의존한다.

상관함수를 이용하여 송신신호와 수신신호 사이의 상호의존도를 판단하는 것은 어렵다. 두 신호 사이의 상호의존도를 판별하기 위해서는 식 (2)와 같이 두 신호의 상관함수 절대값을 개별 신호의 자기상관(Autocorrelation) 최대값의 제곱근의 곱, 즉 두 신호의 에너지 곱으로 나눈 값의 최대값을 구해야 한다. 즉 식 (2)를 이용하여 구한 값으로 두 신호 사이의 유사성을 판단할 수 있다. 이를 펄스 충실도(Pulse Fidelity)라 하며, 0과 1 사이의 값을 갖는다[3~4].

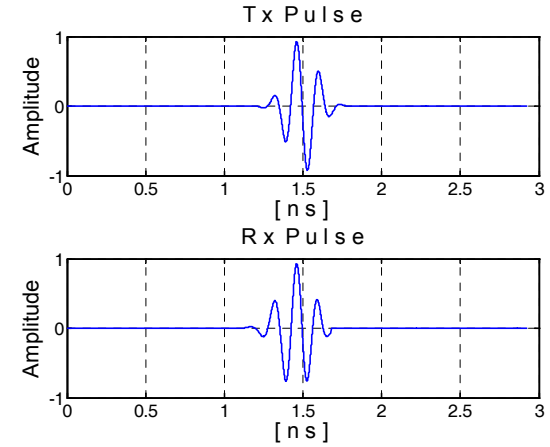
$$F=\max_{\tau}\left(\frac{\left|\int_{-\infty}^{+\infty} s_{TX}(t)s_{RX}(t-\tau)d\tau\right|}{\sqrt{C_{TX}}\sqrt{C_{RX}}}\right) \qquad (2)$$

$$C_K=\max\left(\int_{-\infty}^{+\infty} s_K(t)s_K^*(t)dt\right)$$

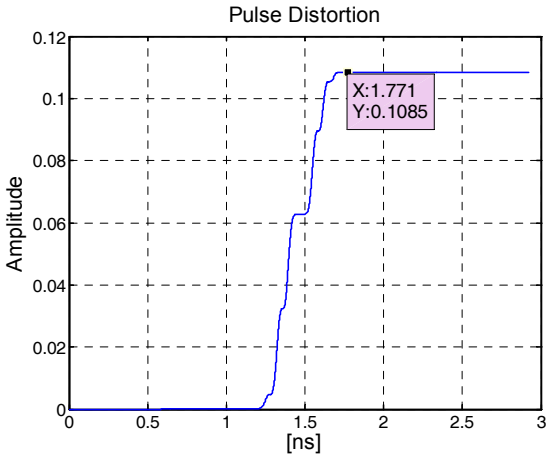
여기서, C_K : 자기상관계수

K : TX 또는 RX

펄스충실도는 송신안테나를 통해 방사된 펄스신호와 수신안테나에서 수신된 펄스신호 사이의 유사성을 반영



(a) 송●수신 테이퍼 슬롯 안테나 입●출력 펄스
(a) Input and output pulse of Transmit-Receive Tapered slot Antenna



(b) 입●출력 펄스파형 왜곡 계산
(b) Pulse distortion ratio for input vs. output pulse

그림 2. 테이퍼 슬롯 안테나의 시간영역 송●수신 펄스 왜곡 계산
Fig. 2. Pulse distortion ratio of tapered slot antenna in the time domain.

한다. 두 펄스 신호의 파형이 서로 완벽하게 일치할 때, 펄스충실도는 1의 값을 가지며, 따라서 공간적으로 이격된 송, 수신 안테나 시스템은 신호를 전혀 왜곡시키지 않는다는 것을 의미한다. 일반적으로 펄스충실도는 1 이하의 값을 가지며, 통상적으로 80% 이상의 값을 가질 경우 안정적인 통신이 이루어진다고 볼 수 있다[4, 7, 14].

그리고 두 신호 $s_{TX}(t)$와 $s_{RX}(t)$ 사이의 왜곡의 정도는 식 (3)을 통해서 판단할 수 있다. 식 (3)에서 신호 $\hat{s}_K(t)$는 자기 상관값의 제곱근으로 정규화한 단위값으로 식 (4)와 같다.

$$d_e = \min_{\tau} \int_{-\infty}^{+\infty} |\hat{s}_{RX}(t-\tau) - \hat{s}_{TX}(t)|^2 dt \quad (3)$$

$$\hat{s}_K(t) = \frac{s_K(t)}{\sqrt{C_K}} \quad (4)$$

K : TX 또는 RX

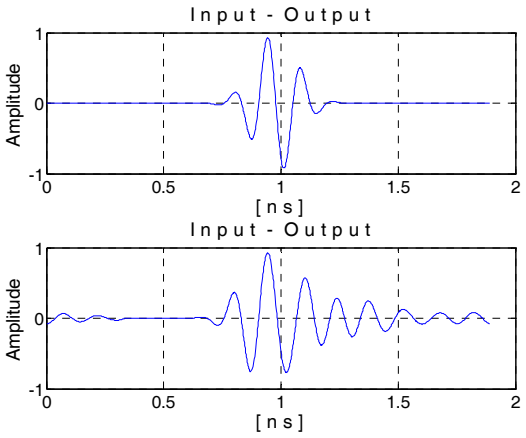
그림 2(a)는 CST를 이용하여 테이퍼 슬롯 안테나 링크 시뮬레이션을 통해 얻은 송신안테나 입력펄스 파형과 수신안테나에서 수신된 출력펄스 파형을 시간영역에서 도시한 것이다.

그림 2(b)는 식 (3)을 이용하여 두 신호 사이의 왜곡정도를 계산한 것으로, 수신안테나에서 수신된 출력펄스는 송신펄스 기준으로 약 10.85% 정도 왜곡되어 있음을 의미한다.

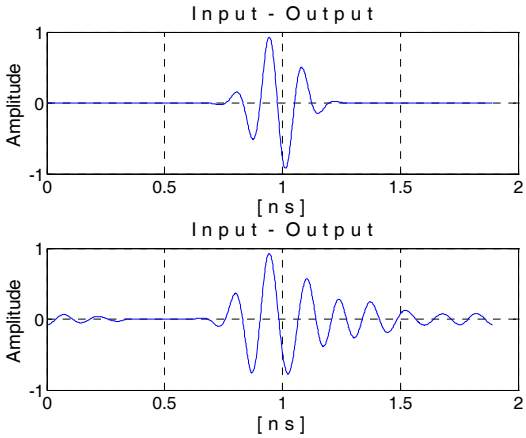
1. 최적방사를 위한 펄스충실도 분석

가. 임피던스 변환기 펄스충실도 분석

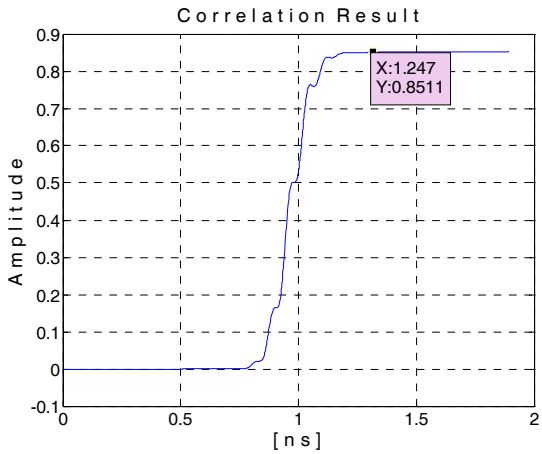
광대역 임피던스 변환기 3 종에 대해 CST를 이용한 시간영역 시뮬레이션을 통해 구한 파형을 이용하여 펄스충실도를 계산하면 다음 그림과 같다. 그림 3 ~그림 5는 이들 3종 광대역 임피던스 변환기에 대한 펄스충실도 계산결과이다. 선형변환기의 펄스충실도는 85.11%이고, 지수함수 변환기는 91.16%이며, 클로펜스타인 변환기는 86.41%의 계산결과를 얻었다. 주파수영역의 시뮬레이션 결과와 마찬가지로 시간영역 분석결과에서도 지수함수 변환기가 다른 2 가지 임피던스 변환기 보다 펄스 왜곡이 덜 되는 것으로 밝혀졌다.



(a) 선형변환기 입력파형
(a) Input waveform of Linear transformer

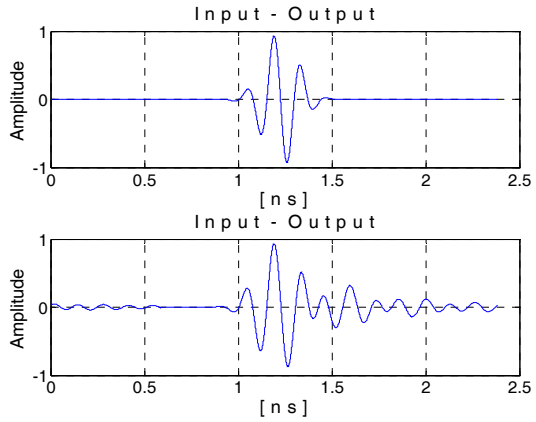


(b) 선형변환기 출력파형
(b) Output waveform of Linear transformer

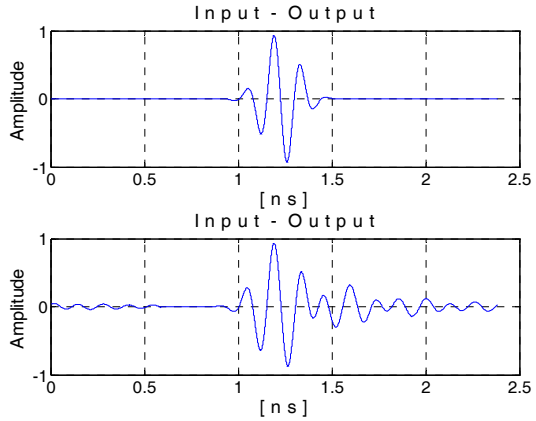


(c) 펄스 충실도 계산 결과
(c) Pulse fidelity for Linear transformer

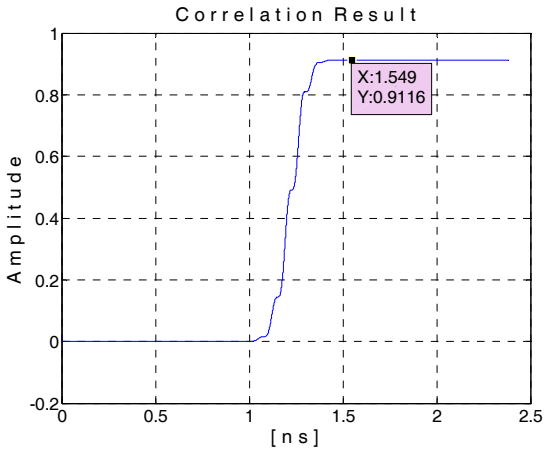
그림 3. 선형변환기 펄스충실도
Fig. 3. pulse fidelity of Linear transformer.



(a) 지수함수 변환기 입력파형
(a) Input waveform of Exponential transformer

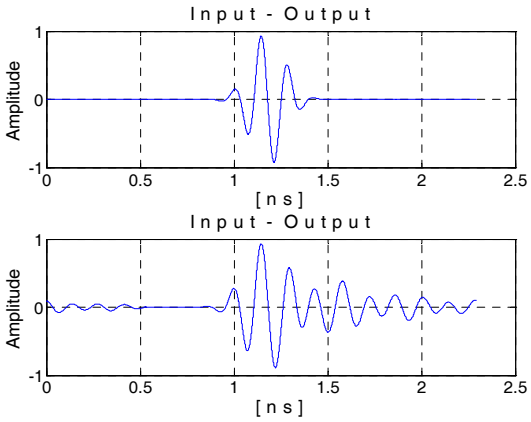


(b) 지수함수 변환기 출력파형
(b) Output waveform of Exponential transformer

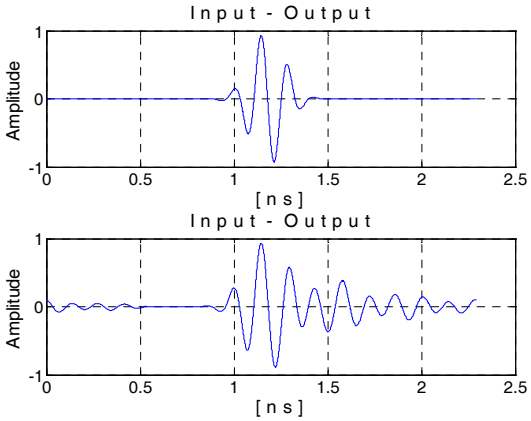


(c) 펄스 충실도 계산 결과
(c) Pulse fidelity for Linear transformer

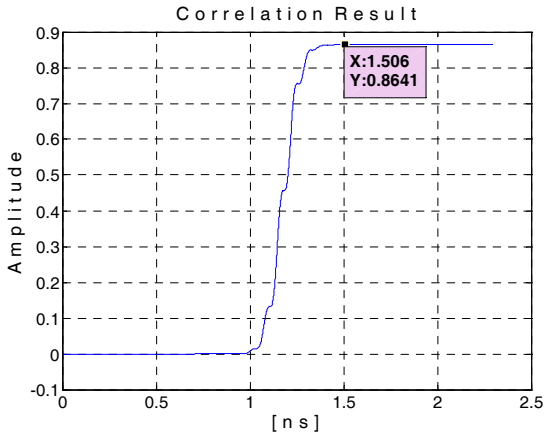
그림 4. 지수함수 변환기 펄스충실도 계산결과
Fig. 4. Calculation of pulse fidelity of Exponential transformer.



(a) 클롭펜스타인 변환기 입력파형
(a) Input waveform of Klopenstein transformer



(b) 클롭펜스타인 변환기 출력파형
(b) Output waveform of Klopenstein transformer

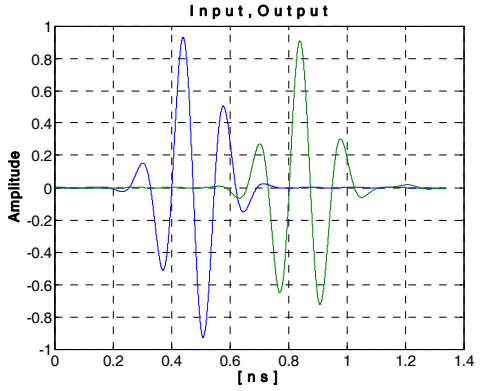


(c) 펄스충실도 계산 결과
(c) Pulse fidelity for Klopenstein transformer

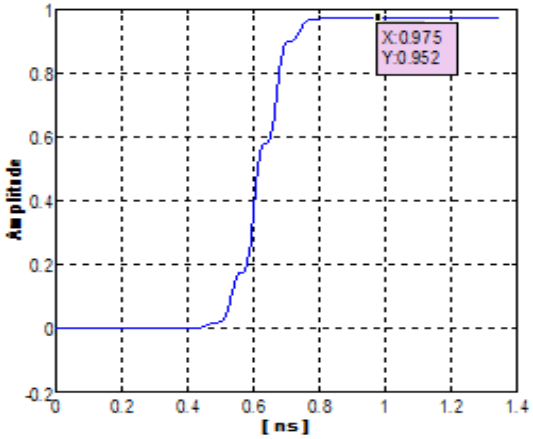
그림 5. 클롭펜스타인 변환기 펄스 충실도 계산 결과
Fig. 5. Calculation of pulse fidelity for Klopenstein transformer.

나. 광대역 천이 펄스충실도 분석

그림 6은 광대역 천이에 대한 펄스충실도 분석 결과이다. 임피던스 변환기와 비교하여 95.2%의 매우 양호한 펄스충실도 결과를 얻을 수 있었다. 설계된 광대역 천이구조를 테이퍼 슬롯 안테나 급전으로 이용할 경우 펄스왜곡이 거의 없는 상태에서 테이퍼 슬롯으로 전달될 수 있음을 의미하며, 따라서 임펄스 전송에 매우 적합한 구조임을 알 수 있다.



(a) 천이부 입●출력 펄스 파형
(a) Input & output waveform of transition

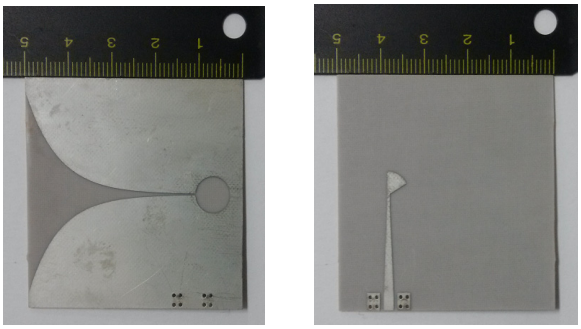


(b) 펄스충실도 계산 결과
(b) Pulse fidelity for transition

그림 6. 천이부 펄스충실도 계산 결과
Fig. 6. Calculation of pulse fidelity for transition.

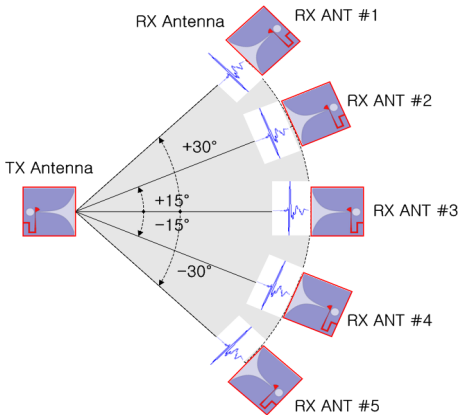
III. 제작 및 측정

그림 7은 본 논문에서 설계·제작한 UWB 대역에서 동작하는 테이퍼 슬롯 안테나이다. 입력단은 방사되는 임펄스 신호에 대한 왜곡과 전자기파에 대한 영향을 최소화 하고 시스템 설치가 용이하도록 그림 7(a)와 같이 50Ω 임피던스를 갖는 마이크로스트립 선로를 이용하여 구현하였다.

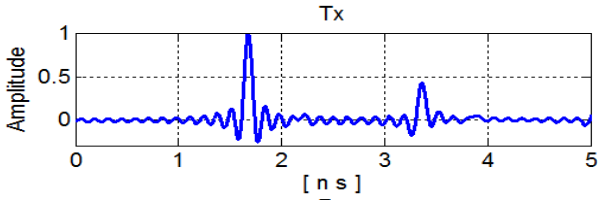


(a) 상측면 (b) 하측면
(a) Top view (b) Bottom view

그림 7. 제작된 테이퍼 슬롯 안테나
Fig. 7. Fabricated tapered slot antenna.



(a) 안테나 수신 빔 폭 성능 시험 셋업
(a) Test setup for receiving beamwidth of Taper slot antenna



(b) 기준파형 (b) Reference waveform

그림 8. 수신 위치에 따른 시험 구성도
Fig. 8. Test setup for pulse fidelity according to receiving antenna location.

그림 7은 본 논문에서 설계한 테이퍼 슬롯 안테나는 UWB 대역에서 동작하는 안테나로, 입력단은 방사되는 임펄스 신호에 대한 왜곡과 전자기파에 대한 영향을 최소화 하고 시스템 설치가 용이하도록 그림 7(a)와 같이

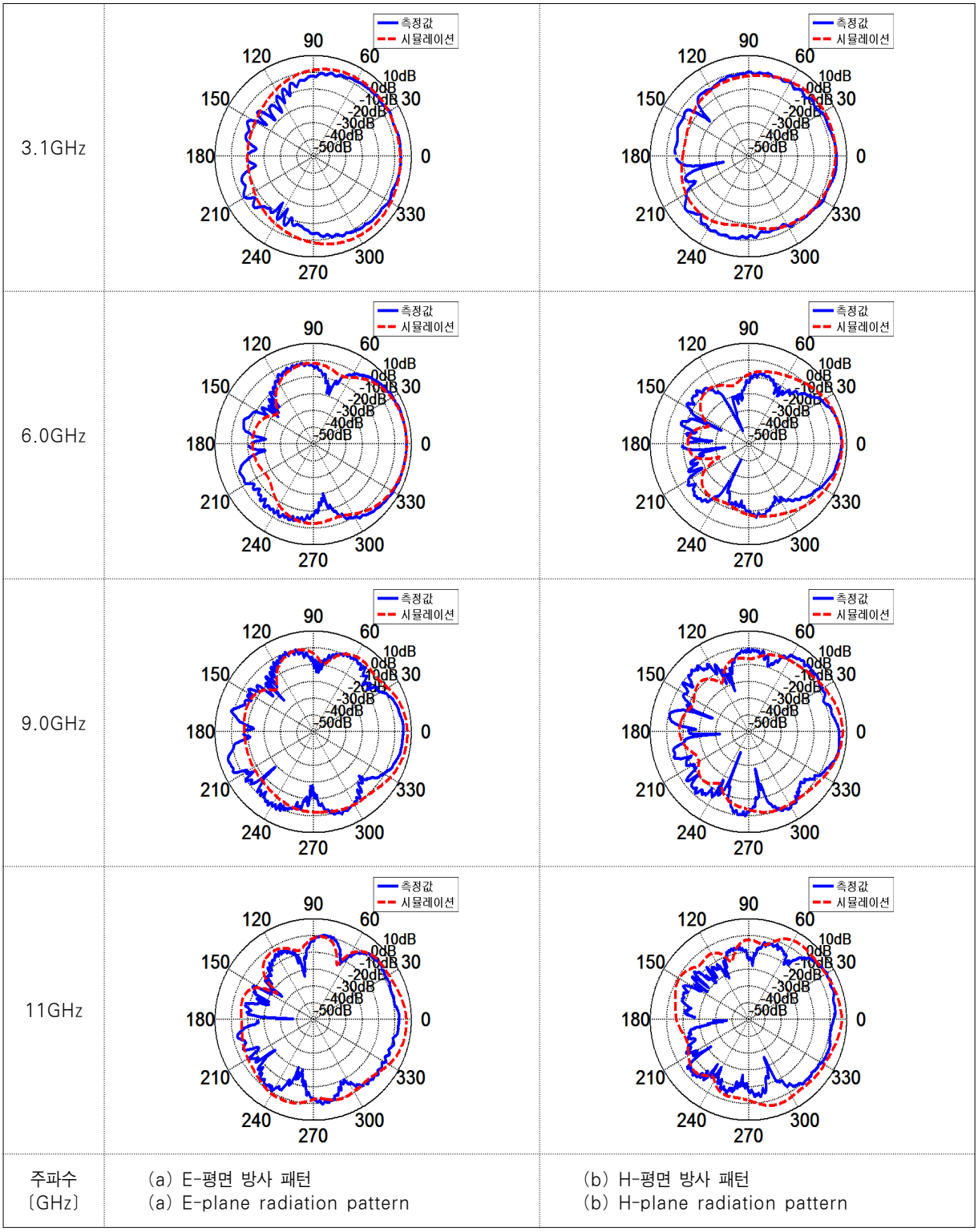


그림 9. 테이퍼 슬롯 안테나 방사 패턴
Fig. 9. Radiation plots of the tapered slot antenna.

50Ω 임피던스를 갖는 마이크로스트립 선로를 이용하여 RT/duroid 5880 기판(ϵ_r=2.2, H=0.8mm, t=1oz)에 구현하였으며, 제작된 테이퍼 슬롯 안테나 크기는 50mm × 50mm 였다.

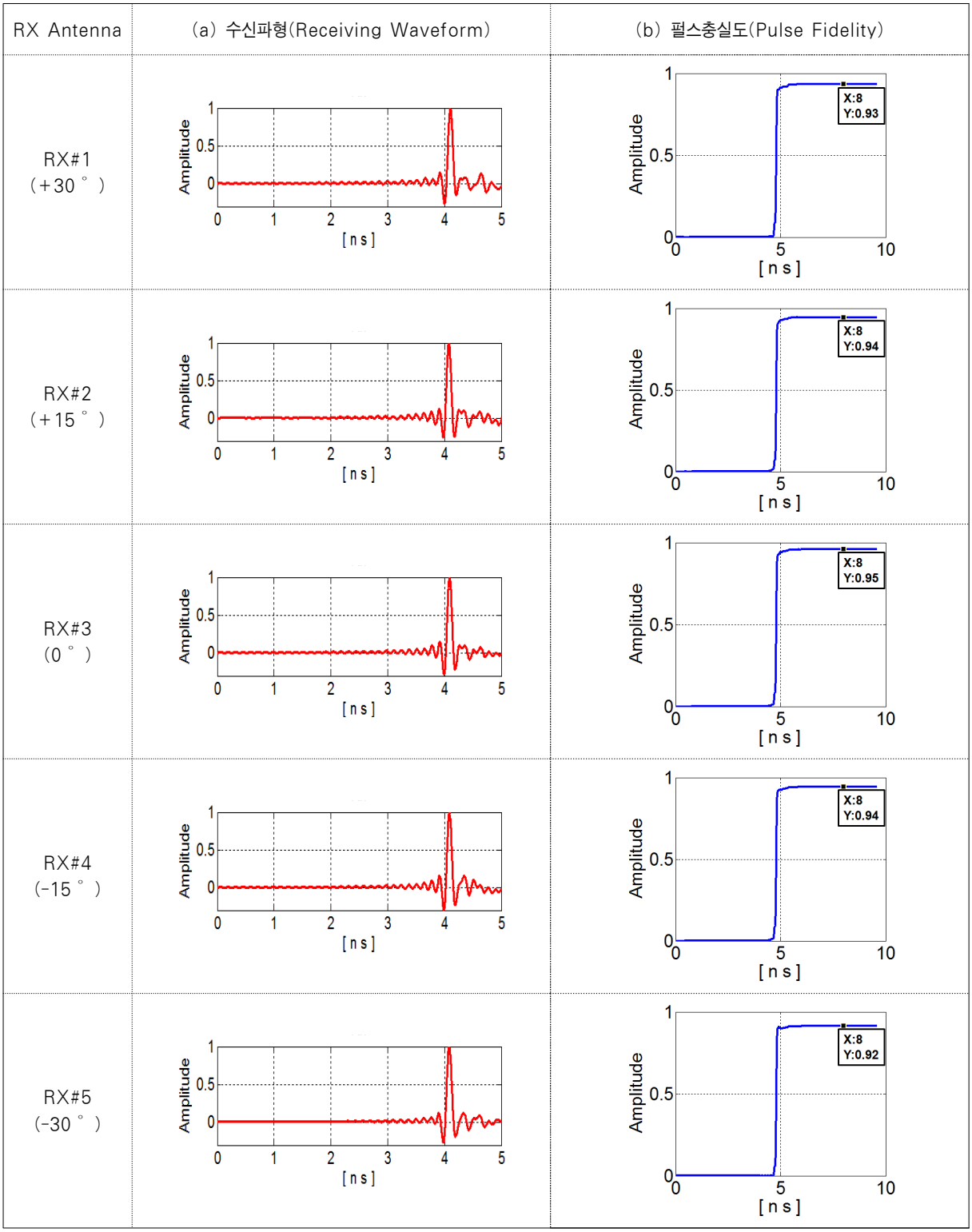


그림 10. 수신 안테나 위치에 따른 펄스 충실도
Fig. 10. Pulse fidelity according to receiving antenna location.

시간영역 신호인 임펄스 신호를 대기 중으로 방사하는 방사체(Radiator)는 입력단에서 광대역 천이를 통해 입력된 전파가 방사체를 통해서 대기 중으로 방사될 경우, 날카로운 모서리로 인한 불요파 방사와 임펄스 전

송에 따른 스파크가 최소가 되도록 그림 7(b)와 같이 부드럽고 매끄러운 깔대기 모양으로 제작하였다. 기본적으로 방사체는 신호발생부의 50Ω 임피던스를 대기중 임피던스로의 부드러운 변환을 가져야 한다. 특히 펄스신호를 방사할 경우 불완전한 임피던스로 인해 링깅 현상 등의 왜곡이 심화될 수 있으므로, 그림 7(b)와 같은 매끄러운 깔대기 구조는 임피던스의 큰 변화 없이 초광대역 임펄스 신호를 대기 중으로 전송할 수 있다[1, 13].

테이퍼 슬롯 안테나는 섹터 안테나로 사용이 가능하며, 이에 대해 일정 빔 폭 이내에서 광대역 임펄스 신호 전송이 가능한지를 알아보기 위해 그림 8(a)와 같은 수신안테나 위치에 따른 펄스충실도 시험을 위한 테스트 셋업을 구성하여 시험하였다.

기준파형으로 사용하기 위한 송신신호는 그림 8(b)와 같으며, 표준 네트워크 분석 장치를 이용하여 3.1~10.6GHz의 광대역 신호를 송신안테나에 인가하였으며, 동일 안테나를 1미터 떨어진 거리에서 수신용으로 구성하였다.

제작된 안테나는 전파 무반사실에서 반사손실과 이득, E-평면 및 H-평면 방사 패턴을 측정하였다.

그림 9는 3.1GHz, 6GHz, 9GHz 및 11GHz 주파수에서 측정한 E-평면과 H-평면 방사패턴을 나타낸다. 6GHz에서 E-평면의 3dB 빔 폭은 약 60°이며, H-평면의 3dB 빔 폭은 약 52° 정도로 특정한 섹터 방향으로 UWB 신호를 전송하는데 최적의 성능을 가짐을 알 수 있다.

자유 공간상에서 전파되어 수신된 스펙트럼 신호를 펄스신호로 변환하기 위해 IDFT(Inverse Discrete Fourier Transform)을 수행하여 송신 및 수신펄스 파형을 분석하였다. 따라서 왜곡, 지연 및 펄스의 분산 특성 등의 분석이 가능하다.

그림 10(a)는 송·수신 안테나 링크에서 측정한 수신 스펙트럼 신호를 IDFT를 이용하여 시간영역으로 변환한 결과를 나타내며, 그림 10(b)는 이를 이용하여 계산한 펄스충실도 계산 결과이다. 수신안테나의 ±30° 빔 폭 이내에서 펄스충실도는 93% 이상의 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 제작된 테이퍼 슬롯 안테나는 UWB 대역에서 임펄스 전송이 가능하며, 섹터 안테나로서 임펄스 전송에 적합함을 알 수 있다[15~16].

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 펄스 충실도 및 왜곡율 수식을 유도하고 이를 적용하여 펄스 충실도가 개선된 안테나를 설계 및 제작하였다. 최적 임펄스 신호 방사를 위한 UWB 슬롯 안테나를 설계 및 제작하기 위해 안테나 급전부를 구성하는 광대역 임피던스 변환기 3종에 대한 시간 및 주파수 영역 분석을 통해 최적 임펄스 전송이 가능한 임피던스 변환기를 선정하였으며, 마이크로스트립-슬롯라인 천이부 연구를 통해, 최소 펄스왜곡을 갖는 천이부를 설계하였다. 시간영역 분석을 위해 CST를 이용한 FDTD 시뮬레이션과 펄스상관식과 왜곡율 수식 유도를 통해 송신펄스와 수신펄스 사이의 펄스충실도와 신호왜곡을 분석하였다.

통상적으로 80% 이상의 값을 가질 경우 안정적인 통신이 이루어진다고 볼 수 있으나, 제작된 안테나는 전파무반사실에서 측정 및 분석결과 일정 빔 폭 ±30° 이내에서 약 93% 정도의 양호한 펄스충실도를 얻었다. 이러한 펄스 충실도의 개선은 정밀 측위를 가능하게 하여 시스템의 심각한 측정 오류 및 통신 오류를 개선한다.

유도된 펄스충실도식과 왜곡율 수식을 이용하여 임펄스 전송에 사용하기 위한 안테나에 대해 설계 각 단계별로 분석이 가능하며, 분석된 데이터를 설계에 반영함으로써 최적 임펄스 전송이 가능한 안테나를 설계하는 것이 가능하다.

REFERENCES

[1] K. S. Yngvesson, D. H. Schaubert, T. L. Korzeniowski, E. L. Kollberg, T. T. Thungren, and J. F. Johansson, “Endfire tapered slot antennas on dielectric substrates,” IEEE Trans. Antenna Propagation, vol. AP-33, pp. 1392-1400, Dec. 1985.

[2] J. D. McKinney, D. Peroulis, A. M. Weiner, “Time-domain measurement of the frequency-dependent delay of broadband antennas,” IEEE Trans. Antenna & propagation, vol. 56, no. 1, pp. 39-47, Jan. 2008.

[3] G. Quintero and A. K. Skrivervik, “Analysis of planar UWB Elliptical dipoles fed by a coplanar stripline,” Proc., IEEE Conf., ICUWB2008, Vol. 1,

pp.113-116, 2008.
[4] Dong Mei Shan, Zhi Ning Chen and Xuan Hui Wu, “Signal optimization for UWB radio systems,” IEEE Trans. Antennas & Propagation, vol. 53, no. 7, pp. 2178-2184, Jul. 2005.
[5] W. Sögel, W. Wiesbeck, “Influence of the antennas on the ultra-wideband transmission,” EURASIP Journal on Applied Signal Processing, pp. 196-305, Mar. 2005.
[6] G. D. Bergland, “A guided tour of the fast fourier transform,” *IEEE Spectrum*, vol. 6, pp. 41-52, Jul. 1969.
[7] Z. Ning. Chen, X. H. Wu, and H. F. Li, “Considerations for source pulses and antennas in uwb radio system,” IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 52, no. 7, pp. 1739-1748, July 2004.
[8] R. E. bode. Collin, “Theory and design of wide-band multisection quarter-wave transformer,” Proc. IRE, vol. 43, pp. 179-185, Feb. 1955.
[9] R. W. Klopfenstein, “A transmission line taper of improved design,” Proceedings of the IRE, pp. 31-35, Jan. 1956.
[10] K. C. Gupta, R. Garg, and I. J. Bahl, “Microstrip Lines and Slotlines,” Artech House, Norwood, MA, 1979.
[11] M. M. Zinieris, R. Sloan, and L. E. Davis, “A broadband microstrip to slot line transition”, *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 18, no. 5, pp 339-342, Aug. 1998.
[12] S. L. Marple Jr., “Computing the discrete-time ′analytic′ signal via FFT,” IEEE Trans. Signal Processing, vol. 47, pp. 2600-2603, Sep. 1999.
[13] P. J. Gibson, “The vivaldi aerial,” Proceedings of the 9th European Microwave Conference, pp. 101- 105, 1979.
[14] 이창주, 김수훈, 박영본, 이문수, “슬롯과 슬릿을 사용하여 무선랜 대역이 제거된 평면형 UWB 안테나 설계” 대한전자공학회, 전자공학회논문지-TC, 제49권 TC편 제6호 page(s): 105-110, 2012. 6.
[15] 김은주, 오용부, 허재경, 윤종남, “초소형 UWB 안테나의 설계” 대한전자공학회, 대한전자공학회 2008년 정기총회 및 추계종합학술대회 page(s): 329-330 2008. 11.
[16] 고영목, 나극환, “최적 임펄스 전송을 위한 초광대역 테이퍼 슬롯 안테나 설계”, 한국전자파학회논문지, 21(6), pp. 553-563, 2010년 6월.

저 자 소 개

김 종 민(정회원)
1990년 광운대학교 전자공학과 (공학석사)
2013년 광운대학교 전자공학과 (공학박사)
2012년 8월～현재 아이디어링크(주) 대표
<주관심분야 : 초고주파, 게임엔진, 신호처리>

강 은 균(정회원)
1998년 광운대학교 전자공학과 (공학석사).
2013년 광운대학교 전자공학과 (공학박사)
2011년 9월～현재 유한대학교 전자정보과 강의전담 교수
<주관심분야 : 반도체, 초고주파, 신호처리>