한국ITS학회논문지
제11권, 제5호 (2012년 10월)
pp.103~115

임펄스 신호 방사를 위한 IR-UWB용 테이퍼 슬롯 안테나 설계 및 성능평가

Design and Performance Evaluation of IR-UWB Tapered Slot Antenna for Optimum Impulse Radio Radiation

김 종 민* (Jong-Min Kim)　고 영 목** (Young-Mok Koh)　나 극 환*** (Keuk-Whan Ra)

요 약

본 논문에서는 임펄스를 방사하기 위한 IR-UWB용 테이퍼 슬롯 안테나(Tapered Slot Antenna: TSA) 설계와 성능평가에 대해 연구하였다. UWB 대역에서 지향성 특성을 갖는 테이퍼 슬롯 안테나는 낮은 방사손실과, 임펄스 방사왜곡이 최소이어야 한다. 이를 위해 광대역 임피던스 변환기와 마이크로스트립-슬롯라인 천이부 구조를 갖는 테이퍼 슬롯 안테나 급전부를 설계하였다. 설계 및 제작된 테이퍼 슬롯 안테나는 전파 무반사실에서 방사패턴을 측정하였으며, 임펄스 방사에 따른 시간영역 특성을 평가하기 위해 펄스충실도 및 왜곡율 수식을 유도하였다. 제작된 테이퍼 슬롯 안테나의 임펄스 방사에 의한 펄스충실도는 ±30° 빔폭 내에서 약 93% 이상의 양호한 결과를 얻었다.

Abstract

In this paper, design and performance evaluation of Tapered Slot Antenna for IR-UWB which propagates impulse radio is performed. TSA which has directional characteristic in UWB band should have low radiation loss and minimized impulse radiation distortion. In order to achieve these objectives, the paper designed wide band Impedance transformer and microstrip-slotline transit region structured TSA feeder line. By using the fabricated TSA, the radiation pattern was measured in the radio anechoic chamber. Pulse fidelity and distortion equation was induced to evaluate time domain characteristics according to the impulse radiation. Pulse fidelity of Impulse radiation show favorable results more than 93% within ±30° beam width.

Key Words : Tapered Slot Antenna, TSA, UWB, IR-UWB, Pulse Fidelity

Ⅰ. 서 론

나노초(Nano-second) 단위의 펄스폭을 갖는 임펄스 신호 전송을 위한 IR-UWB(Impulse Radio Ultra Wide Band) 기술은 지난 20여 년 동안 레이더(Ground penetrating Radar, through-wall radar), 토목

† 본 연구는 민군 겸용 기술 개발 사업비 지원으로 수행되었음.
* 주저자 : 광운대학교 전자공학과 박사과정
** 공저자 및 교신저자 : 광운대학교 전자공학과 박사과정
*** 공저자 : 광운대학교 전자공학과 교수
† 논문접수일 : 2012년 7월 4일
† 논문심사일 : 2012년 9월 4일
† 게재확정일 : 2012년 9월 7일

공학용 비파괴 탐상 레이더(Non Destructive Testing in civil engineering), 위치 정밀추적 장치, 의료 및 무선통신 등의 여러 분야에서 상당한 발전을 하여 왔다[1][2].

이러한 UWB 기술의 다양한 가능성에 비해 UWB 안테나는 여전히 해결해야 할 과제로서, 주파수영역과 시간영역 모두에서 만족할만한 성능을 제공할 수 있어야 한다[3]. UWB 시스템에서 전체 성능을 최적화하고 왜곡이 없는 파형을 방사하기 위해 최소 왜곡을 갖는 안테나가 설계되어야 한다.

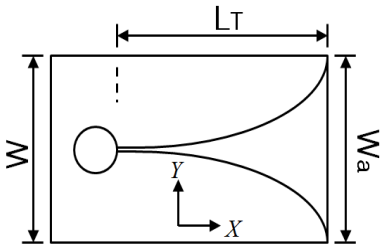
안테나에서의 펄스왜곡은 GPR, 비파괴 탐상 레이더와 같은 임펄스 신호 방사 시스템을 포함하여, 정밀 측위와 같은 초광대역 임펄스 신호를 송, 수신하는 통신 시스템에 심각한 측정 및 통신 오류를 발생시킬 수 있다. 따라서 최소의 왜곡의 높은 펄스충실도를 갖는 IR-UWB 섹터 안테나가 요구된다[1][2][5].

본 논문에서는 UWB 대역에서 동작하는 위치정밀추적 및 비파괴탐상 레이더 시스템에서 사용하기 위한 소형의 테이퍼 슬롯 안테나를 설계 및 제작하고, 전파무반사실에서 방사패턴을 측정하였으며, 시간영역에서 임펄스 방사 성능을 정량적으로 평가하기 위해 펄스충실도 식과 왜곡율 수식을 유도하였다. 설계된 테이퍼 슬롯 안테나의 펄스충실도는 시간영역 분석이 가능한 CST microwave studio를 이용하였다. 또한 네트워크 측정된 스펙트럼 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][5][6]. 제작된 안테나에 대해 빔 폭 $\pm 30^\circ$ 내에서 펄스충실도 분석 결과 1 미터 정도 이격시킨 두 안테나 사이에서 약 93% 이상의 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

Ⅱ. 최적방사 테이퍼 슬롯 안테나 설계

테이퍼 슬롯 안테나는 1979년 P.Gibson에 의해 처음 제안[7]된 평면진행파(Planar Travelling Wave) 안테나로서, 평면구조임에도 개구(Aperture) 크기를 고려할 경우 혼(Horn) 안테나와 비교할 만한 빔 특성을 가질 뿐만 아니라 광대역 특성과 E-평면 및 H-평면에서 대칭적인 방사패턴을 형성하며, 기존의 평면 안테나보다 높은 이득을 갖는다.

이론적으로 테이퍼 슬롯 안테나는 고주파수에서 감소하는 최소 테이퍼 간격으로 인해 무한한 대역폭을 갖지만 실제로는 좁은 슬롯 폭으로 인해 고주파수의 상한이 제한을 받는다. 이러한 특성으로 인해 펄스왜곡이 불가피하며 따라서 IR-UWB 시스템에서 요구되는 임펄스 신호의 펄스충실도를 보장하고 IR-UWB 송신기 및 수신기와의 효율적인 결합과 급전이 이루어지도록 설계가 되어야 한다. 이러한 테이퍼 슬롯 안테나는 마이크로스트립 선로 구조의 급전부와 급전부에서 슬롯라인으로 천이 하는 천이부 및 대기 중으로 임펄스 신호를 방사시키기 위한 테이퍼 슬롯부로 구성되어 있다[7].



〈그림 1〉 테이퍼 슬롯 안테나 방사체 구성도
〈Fig. 1〉 Radiator configuration of the taper slot antenna

2.1 광대역 임피던스 변환기 설계

테이퍼 슬롯 안테나의 신호 급전은 임피던스 50 Ω인 SMA 컨넥터를 이용하였다. 급전부 반사를 최소로 하기 위해 SMA 컨넥터는 50Ω 마이크로스트립 선로에 연결되며, 마이크로스트립-슬롯라인 천이부에 연결되는 마이크로스트립 선로 임피던스는 100Ω으로 설계하였다. 따라서 테이퍼 슬롯 안테나가 UWB 대역에서 임펄스 신호에 대해 펄스왜곡 없이 광대역으로 동작하기 위해서는 50Ω 임피던스의 급전부에서 100Ω 임피던스의 천이부까지 매끄

럽고 지속적인 임피던스 변화를 가지면서 전체 UWB 주파수 대역에서 반사가 최소가 되도록 설계되어야 한다.

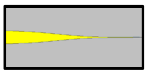
본 논문에서는 테이퍼 슬롯 안테나 급전부로 광대역 임피던스 변환기를 사용하였다. $\lambda_g/4$ 협대역 임피던스 변환기와는 달리, 광대역 임피던스 변환기는 선로를 따라 매끄럽고 지속적인 임피던스 변화를 갖는다. 광대역 임피던스 변환기로서 최소 반사손실을 갖는 구조로는 선형변환기(Linear Transformer)와 지수함수 변환기(Exponential Transformer) 및 클로펜스타인 변환기(Klopenstein Transformer) 등이 있다[8][9].

$$Z(x)=\sqrt{Z(x-\triangle x)Z(x+\triangle x)}$$

(a) 선형변환기
(a) Linear Transformer

$$Z(x)=Z_1\exp\left[\frac{x}{L}ln\frac{Z_2}{Z_1}\right]$$

(b) 지수함수 변환기
(b) Exponential Transformer



$$\ln[Z(x)]=\frac{1}{2}\ln(Z_1Z_2)+\frac{\Gamma_0}{\cosh A}A^2\varphi\left(\frac{2x}{L}-1,A\right)$$

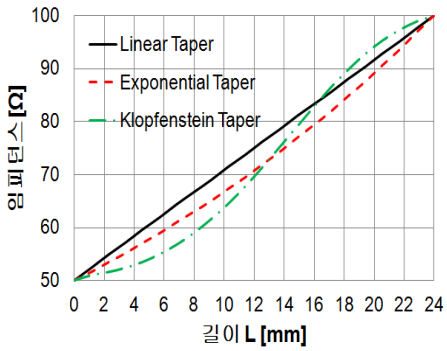
$$\varphi(x,A)=-\varphi(-x,A)\int_0^x\frac{I\left[A\sqrt{1-y^2}\right]}{A\sqrt{1-y^2}}dy$$

$$\Gamma_0=\frac{Z_2-Z_1}{Z_2+Z_1}$$

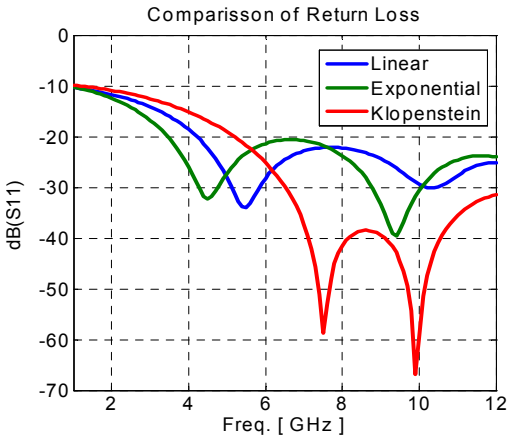
(c) 클로펜스타인 변환기
(c) Klopenstein Transformer

〈그림 2〉 광대역 임피던스 변환기 종류 및 구조
〈Fig. 2〉 Types and structures of wideband impedance transformer

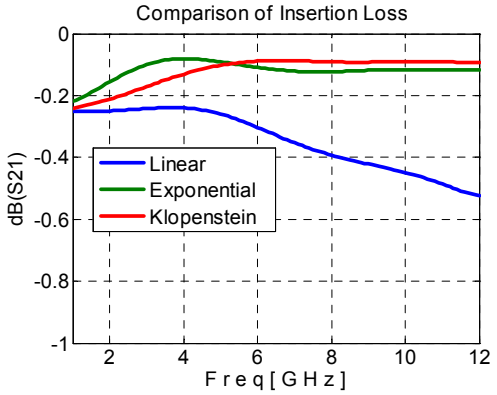
마이크로스트립 임피던스 변환기는 서로 다른 두 임피던스가 $\lambda_g/4$ 임피던스로 연결된 것으로 이들 임피던스의 기하학적인 중심은 <그림 3>의 계산결과 그래프에서 알 수 있듯이 동일하다. 따라서 광대역 변환기는 이들 선로의 작은 부분에서 설계되며 이것은 경계 임피던스의 기하학적인 중심을 유지한다.



〈그림 3〉 광대역 임피던스 변환기 형상 그래프
〈Fig. 3〉 Graph of impedance transformer



(a) 반사손실 비교 그래프
(a) Compare return loss



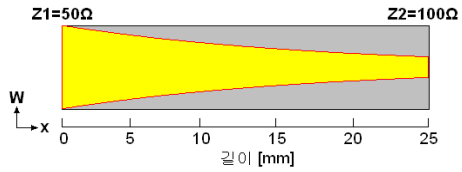
(b) 삽입손실 비교 그래프
(b) Compare insertion loss

〈그림 4〉 광대역 임피던스 변환기 특성비교
〈Fig. 4〉 Compare of wideband impedance transformer

<그림 4>는 테이퍼 슬롯 안테나 급전부로 사용하기 위한 광대역 임피던스 변환기 선정을 위해 $\lambda_g/4$의 동일한 길이를 갖는 3가지 구조에 대한 대역특성을 CST를 이용하여 시뮬레이션한 그래프이다. <그림 4(a)> 반사손실 그래프에서 3가지 모두 광대역 특성을 만족하지만 선형변환기의 경우 길이가 증가함에 따라 특성 열화가 확연하며 클로펜스타인 변환기의 경우 고주파수에서 양호한 성능을 갖지만 저주파수에서 지수변환기 보다 상당히 열화된 특성을 갖는다.

<그림 4(b)>에서 지수함수 변환기가 UWB 대역 내에서 최대 삽입손실 dB(S21)이 약 0.15dB이고 반사손실 dB(S11)이 -15dB 이하로 테이퍼 슬롯 안테나 급전으로 사용하기에 최적임을 알 수 있다.

따라서 본 논문에서는 UWB 대역 특성을 만족하고 반사손실과 삽입손실이 양호한 지수함수 임피던스 변환기를 이용하여 테이퍼 슬롯 안테나 급전으로 사용하였다. <그림 5>는 테이퍼 슬롯 안테나 급전부로 사용하기위한 지수함수 변환기 구조로, 테이퍼 길이에 따라 지수함수식으로 변함을 알 수 있다.



〈그림 5〉 지수함수 임피던스 변환기 형상
〈Fig. 5〉 Structure of exponential transformer

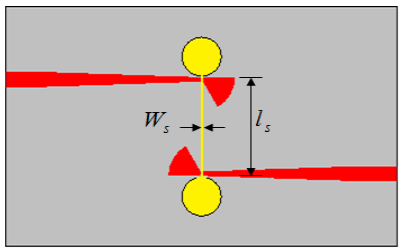
2.2 광대역 천이 설계

UWB 대역에서 임펄스 신호를 방사하는 테이퍼 슬롯 안테나는 왜곡이 없는 방사특성을 가져야 한다. 이를 위해 원형스텁 구조의 슬롯라인과 Radial 스텁 구조의 nonuniform 마이크로스트립 선로로 이루어진 마이크로스트립-슬롯라인 천이구조를 이용하였다. 일반적으로 마이크로스트립- 슬롯라인 천이구조는 광대역 펄스로 구동되는 펄스변환기 등의 회로에서 사용된다[10][11].

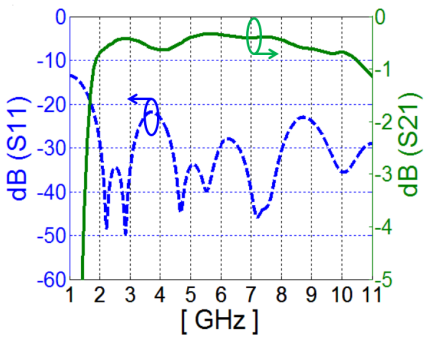
<그림 6>의 마이크로스트립-슬롯라인 천이 구조에서 마이크로스트립 Radial 스텁은 초고주파 대역에서 광대역 스텁으로 가상의 광대역 단락회로로 동작하며, 슬롯라인 원형스텁은 Radial 스텁과의 교차점에서 개방회로로 동작한다. 슬롯라인이 원형스텁으로 종단되었기 때문에, 이상적으로 동작할 경우 천이를 통해 여기된 펄스 에너지는 손실이 없이 전파(傳播)한다.

이러한 마이크로스트립-슬롯라인 천이구조는 마이크로스트립 스텁과 슬롯라인 스텁 사이에 선로 겹침 문제로 인해 마이크로스트립 스텁의 접지면 효과가 방해를 받게 되고 이로 인해 광대역 특성이 열화된다.

마이크로스트립-슬롯라인 천이구조의 주파수 응답 특성을 분석하기 위해서 <그림 6>과 같이 슬롯라인으로 직렬 연결된 두 천이의 전송계수를 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 천이구조의 주파수응답을 얻기 위



(a) 직렬 연결된 원형슬롯 스텁 천이
(a) Structure of cascading circular slot stub transition



(b) 직렬 연결된 원형 슬롯 스텁 천이 전송계수
(b) Transmission coefficients of cascading circular slot stub transitions

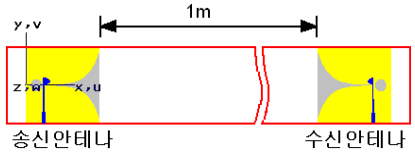
〈그림 6〉 직렬 연결된 원형슬롯 스텁 천이 전송 계수(S_{21}, S_{11}) 분석
〈Fig. 6〉 Analysis of transmission coefficient for cascading circular slot stub transitions

해, 슬롯라인을 통해 연결된 두 천이 사이에서 임피던스 상호 작용이 발생하므로 최소 간섭을 갖도록 적당히 이격시켜 시뮬레이션을 하였다.

전송계수 S_{21}의 리플특성은 슬롯라인 길이 l_s가 길어짐에 따라 증가되므로 슬롯라인 길이 l_s는 시뮬레이션을 통해 최적값을 구하였다. 원형스텁 직경이 커질수록 대역폭 감소는 작지만, Radial 스텁과의 겹침으로 인해 임피던스 대역폭이 감소하고 저주파수에서의 VSWR 성능이 상당히 열화되는 현상이 발생하므로, 원하는 UWB 대역 성능을 만족할 수 있도록 시뮬레이션을 통해 원형스텁과 Radial 스텁 사이 간격을 최적화하였다. 설계된 마이크로스트립-슬롯라인 천이는 10GHz 주파수 근처에서 최대 삽입손실이 약 0.72dB이며, Radial 스텁 길이는 3.1~10.6GHz 주파수 대역에서 반사계수 S_{11}을 거의 단락되도록 조정하였다[12].

Ⅲ. 펄스충실도 및 왜곡분석

테이퍼 슬롯 안테나의 시간영역 동작특성을 분석하기 위해, 한 쌍의 동일한 안테나를 <그림 7>과 같이 자유공간에서 서로 Far Field 조건[2]를 만족시키도록 이격거리 1.0m에서 무선 링크를 구성하였다. <그림 7>에서 좌측은 송신안테나, 우측은 수신안테나로 동작한다.



〈그림 7〉 CST를 이용한 시간영역 시뮬레이션
〈Fig. 7〉 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[13][14].

$$C_{TRX}(\tau)=\int_{-\infty}^{+\infty} s_{TX}(t)s_{RX}(t-\tau)d\tau \qquad (5)$$

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 (6)과 같이 두 신호의 상관함수 절대값을 개별 신호의 자기상관(Autocorrelation) 최대값의 제곱근의 곱, 즉 두 신호의 에너지 곱으로 나눈 값의 최대값을 구해야 한다. 즉 식 (6)을 이용하여 구한 값으로 두 신호 사이의 유사성을 판단할 수 있다. 이를 펄스 충실도(Pulse Fidelity)라 하며, 0과 1 사이의 값을 갖는다[13][14].

$$F=\max_{\tau}\left(\frac{\left|\int_{-\infty}^{+\infty} s_{TX}(t)s_{RX}(t-\tau)d\tau\right|}{\sqrt{C_{TX}}\sqrt{C_{RX}}}\right) \qquad (6)$$

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

여기서, C_K : 자기상관계수

K : TX 또는 RX

펄스충실도는 송신안테나를 통해 방사된 펄스신호와 수신안테나에서 수신된 펄스신호 사이의 유사성을 반영한다. 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[14][15].

그리고 두 신호 $s_{TX}(t)$와 $s_{RX}(t)$ 사이의 왜곡의 정도는 식 (7)을 통해서 판단할 수 있다. 식 (7)에서 신호 $\hat{s}_K(t)$는 자기 상관값의 제곱근으로 정규화한 단위값으로 식 (8)과 같다.

$$d_\epsilon=\min_{\tau}\int_{-\infty}^{+\infty}|\hat{s}_{RX}(t-\tau)-\hat{s}_{TX}(t)|^2dt \qquad (7)$$

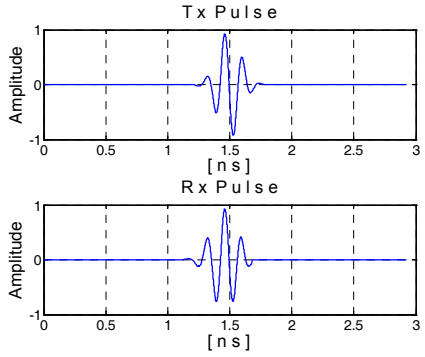
여기서,

$$\hat{s}_K(t) = \frac{s_K(t)}{\sqrt{C_K}} \quad (8)$$

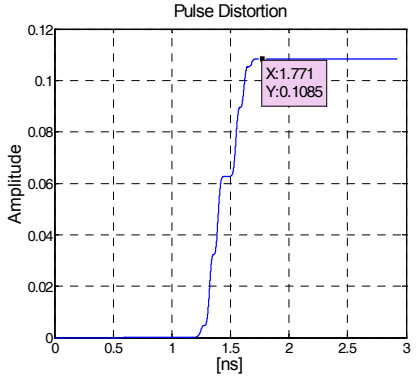
K : TX 또는 RX

<그림 8(a)>는 CST를 이용하여 테이퍼 슬롯 안테나 링크 시뮬레이션을 통해 얻은 송신안테나 입력펄스 파형과 수신안테나에서 수신된 출력펄스 파형을 시간영역에서 도시한 것이다.

<그림 8(b)>는 식 (7)을 이용하여 두 신호 사이의 왜곡정도를 계산한 것으로, 수신안테나에서 수신된 출력펄스는 송신펄스 기준으로 약 10.85% 정도 왜곡되어 있음을 의미한다.



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



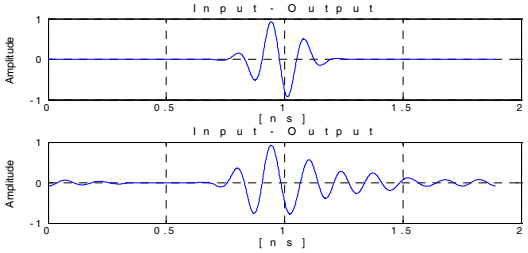
(b) 입·출력 펄스파형 왜곡 계산
(b) Pulse distortion ratio for input vs. output pulse

〈그림 8〉 테이퍼 슬롯 안테나의 시간영역 송·수신 펄스 왜곡 계산
〈Fig. 8〉 Pulse distortion ratio of tapered slot antenna in the time domain

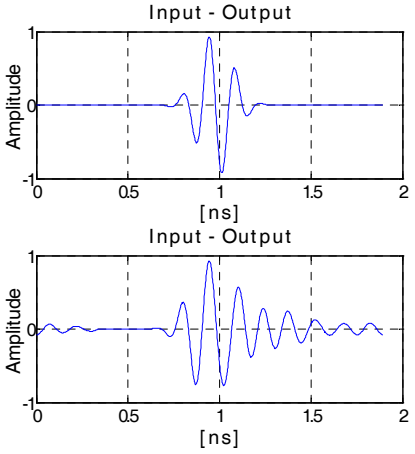
3.1 섹션별 펄스충실도 분석

3.1.1 임피던스 변환기 펄스충실도 분석

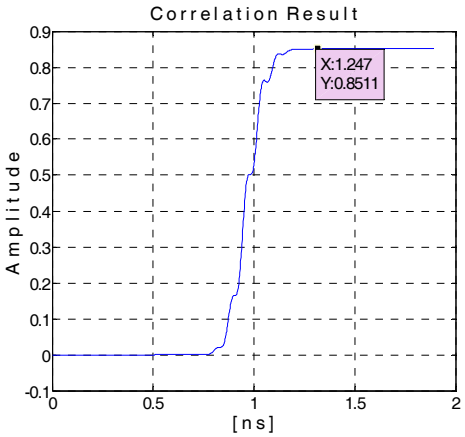
앞에서 설계한 광대역 임피던스 변환기 3 종에 대해 CST를 이용한 시간영역 시뮬레이션을 통해 구한 파형을 이용하여 펄스충실도를 계산하면 다음 그림과 같다. <그림 9>~<그림 11>은 이들 3종 광대역 임피던스 변환기에 대한 펄스충실도 계산 결과이다. 선형변환기의 펄스충실도는 85.11%이고, 지수함수 변환기는 91.16%이며, 클로펜스타인 변환기는 86.41%의 계산결과를 얻었다. 주파수영역의 시뮬레이션 결과와 마찬가지로 시간영역 분석 결과에서도 지수함수 변환기가 다른 2 가지 임피던스 변환기 보다 펄스 왜곡이 덜 되는 것으로 밝혀졌다.



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

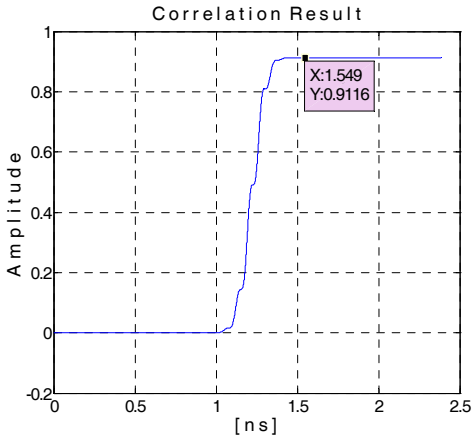


(b) 선형변환기 출력파형
(b) Output waveform of Linear transformer



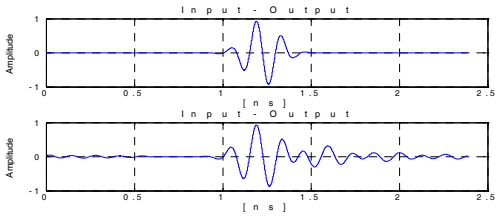
(c) 펄스 충실도 계산 결과
(c) Pulse fidelity for Linear transformer

〈그림 9〉 선형변환기 펄스충실도
〈Fig. 9〉 pulse fidelity of Linear transformer

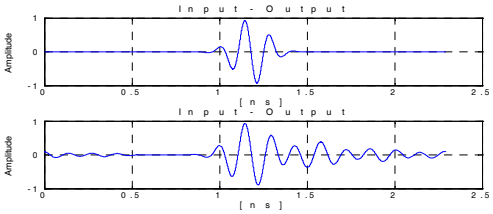


(c) 펄스 충실도 계산 결과
(c) Pulse fidelity for Linear transformer

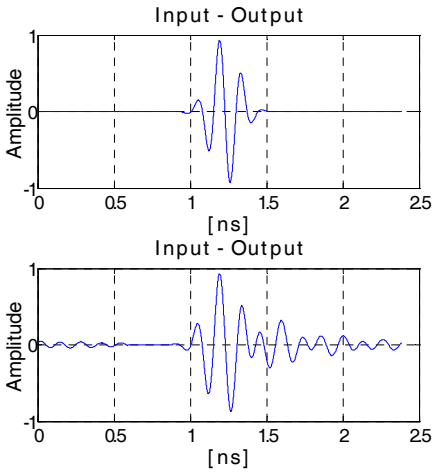
〈그림 10〉 지수함수 변환기 펄스충실도 계산결과
〈Fig.10〉 Calculation of pulse fidelity of Exponential transformer



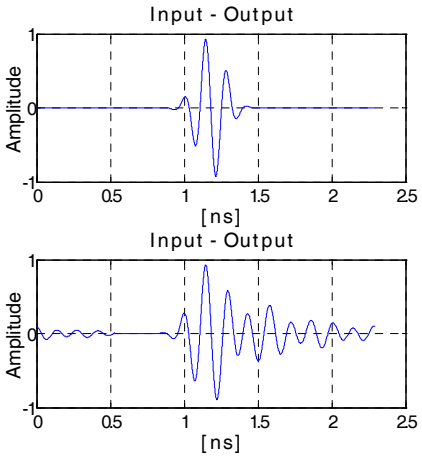
(a) 지수함수 변환기 입력파형
(a) Input waveform of Exponential transformer



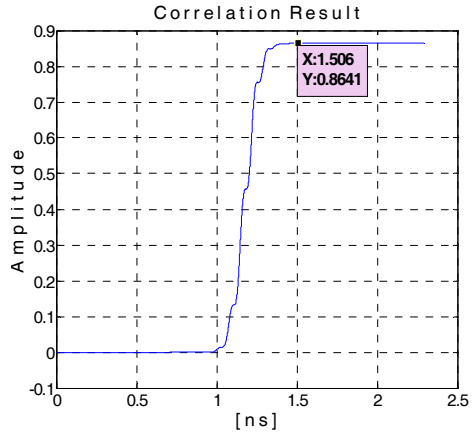
(a) 클롭펜스타인 변환기 입력파형
(a) Input waveform of Klopenstein transformer



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



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

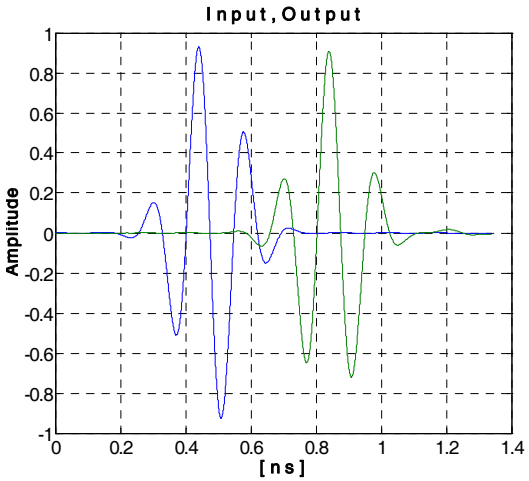


(c) 펄스충실도 계산 결과
(c) Pulse fidelity for Klopenstein transformer

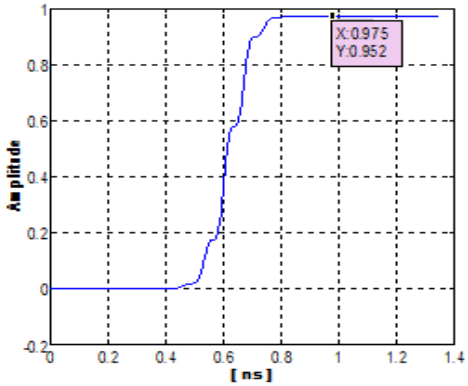
〈그림 11〉 클롭펜스타인 변환기 펄스 충실도 계산 결과
〈Fig. 11〉 Calculation of pulse fidelity for Klopenstein transformer

3.1.2 광대역 천이 펄스충실도 분석

<그림 12>는 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 12〉 천이부 펄스충실도 계산 결과
〈Fig. 12〉 Calculation of pulse fidelity for transition

Ⅳ. 제작 및 측정

<그림 13>은 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 13(a)>와 같이 50Ω 임피던스를 갖는 마이크로스트립 선로를 이용하여 구현하였다.

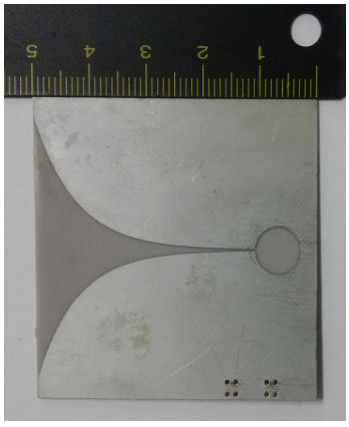
<그림 13>은 본 논문에서 설계한 테이퍼 슬롯 안테나는 UWB 대역에서 동작하는 안테나로, 입력단은 방사되는 임펄스 신호에 대한 왜곡과 전자기파에 대한 영향을 최소화 하고 시스템 설치가 용이하도록 <그림 13(a)>와 같이 50Ω 임피던스를 갖는 마이크로스트립 선로를 이용하여 RT/duroid 5880 기판(ϵ_r=2.2, H=0.8mm, t=1oz)에 구현하였으며, 제작된 테이퍼 슬롯 안테나 크기는 50mm×50mm 였다.

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 전송에 따른 스파크가 최소가 되도록 <그림 13(b)>와 같이 부드럽고 매끄러운 깔대기 모양으로 제작하였다. 기본적으로 방사체는 신호발생부의 50Ω 임피던스를 대기 중 임피던스로의 부드러운 변환을 가져야 한다. 특히 펄스신호를 방사할

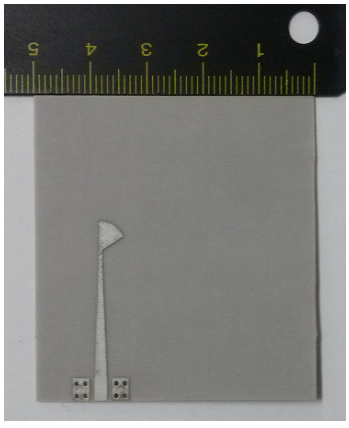
경우 불완전한 임피던스로 인해 링깅 현상 등의 왜곡이 심화될 수 있으므로, <그림 13(b)>와 같은 매끄러운 깔대기 구조는 임피던스의 큰 변화 없이 초광대역 임펄스 신호를 대기 중으로 전송할 수 있다[7][16].

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

<그림 14>는 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.



(a) 상측면 (a) Top view



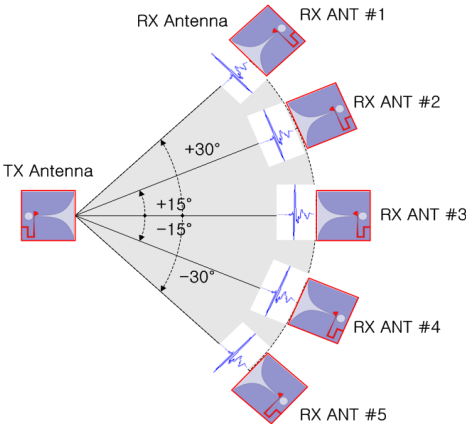
(b) 하측면 (b) Bottom view

〈그림 13〉 제작된 테이퍼 슬롯 안테나
〈Fig. 13〉 Fabricated tapered slot antenna

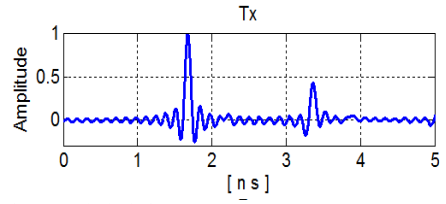
따라서 테이퍼 슬롯 안테나는 섹터 안테나로 사용이 가능하며, 이에 대해 일정 빔 폭 이내에서 광대역 임펄스 신호 전송이 가능한지를 알아보기 위해 <그림 15(a)>와 같은 수신안테나 위치에 따른 펄스충실도 시험을 위한 테스트 셋업을 구성하여 시험하였다.

기준파형으로 사용하기 위한 송신신호는 <그림 15(b)>와 같으며, 표준 네트워크 분석 장치를 이용하여 3.1~10.6GHz의 광대역 신호를 송신안테나에 인가하였으며, 동일 안테나를 1미터 떨어진 거리에서 수신용으로 구성하였다.

자유공간상에서 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.

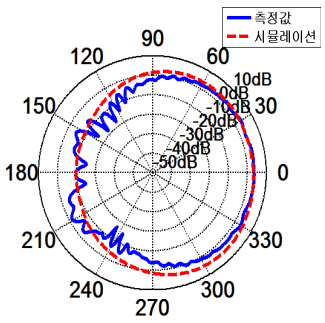
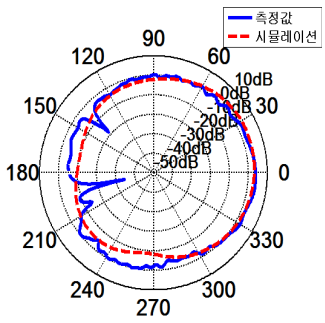
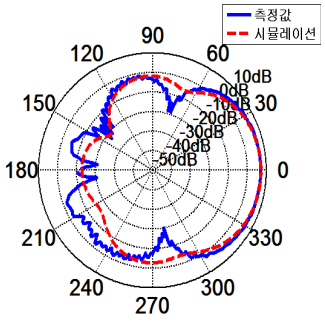
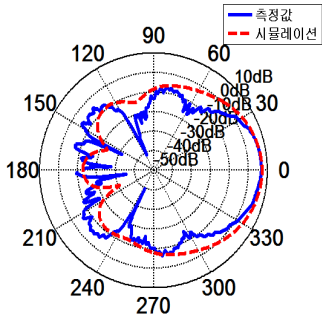
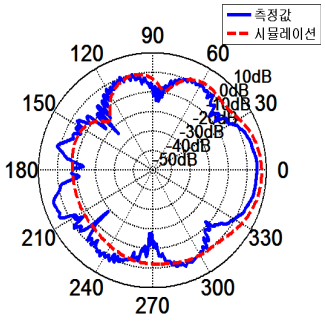
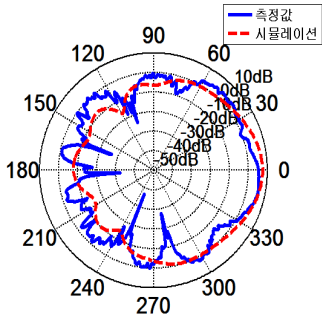
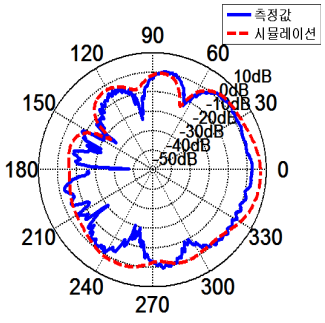
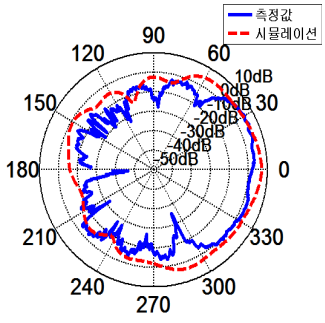


(a) 안테나 수신 빔 폭 성능 시험 셋업
(a) Test setup for receiving beamwidth of Taper slot antenna

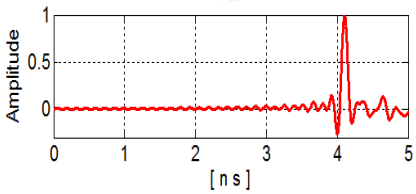
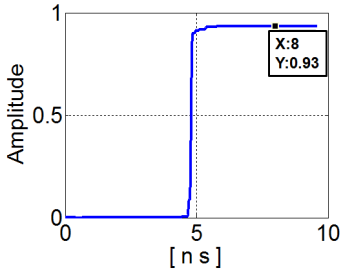
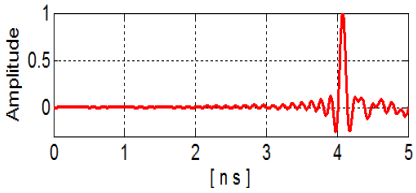
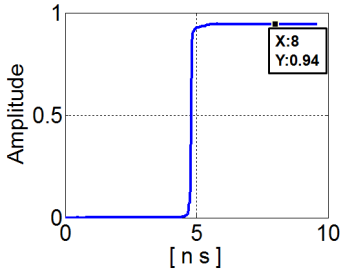
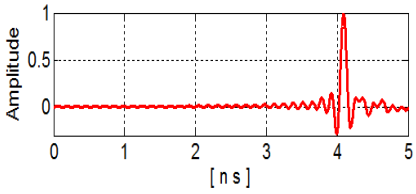
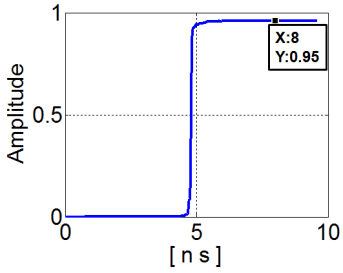
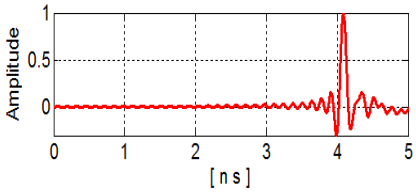
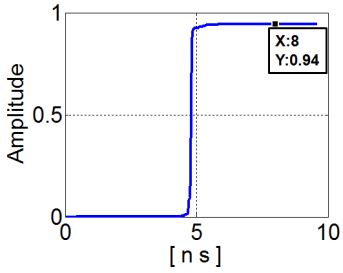
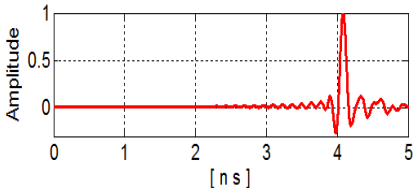
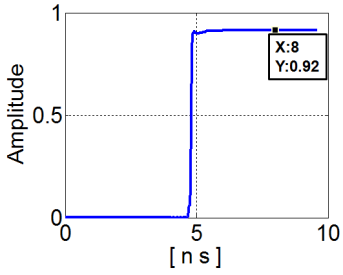


(b) 기준파형 (b) Reference waveform

〈그림 15〉 수신 위치에 따른 시험 구성도
〈Fig. 15〉 Test setup for pulse fidelity according to receiving antenna location.

주파수 (GHz)	(a) E-평면 방사 패턴 (a) E-plane radiation pattern	(b) H-평면 방사 패턴 (b) H-plane radiation pattern
3.1GHz		
6.0GHz		
9.0GHz		
11GHz		

〈그림 14〉 테이퍼 슬롯 안테나 방사 패턴
〈Fig. 14〉 Radiation plots of the tapered slot antenna.

RX Antenna	(a) 수신파형(Receiving Waveform)	(b) 펄스충실도(Pulse Fidelity)
RX#1 (+30°)		
RX#2 (+15°)		
RX#3 (0°)		
RX#4 (-15°)		
RX#5 (-30°)		

〈그림 16〉 수신 안테나 위치에 따른 펄스 충실도
〈Fig. 16〉 Pulse fidelity according to receiving antenna location.

<그림 16(a)>는 송·수신 안테나 링크에서 측정한 수신 스펙트럼 신호를 IDFT를 이용하여 시간영역으로 변환한 결과를 나타내며, <그림 16(b)>는 이를 이용하여 계산한 펄스충실도 계산 결과이다. 수신안테나의 ±30° 빔 폭 이내에서 펄스충실도는 93% 이상의 양호한 결과를 얻을 수 있었으며, <그림 14>의 방사패턴 측정에서 얻은 빔 폭과 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 제작된 테이퍼 슬롯 안테나는 UWB 대역에서 임펄스 전송이 가능하며, 섹터 안테나로서 임펄스 전송에 적합함을 알 수 있다.

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 임펄스 신호 방사를 위한 IR-UWB용 테이퍼 슬롯 안테나 설계 및 성능평가에 대해 논하였다. 최적 임펄스 신호 방사를 위한 테이퍼 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.

제작된 안테나는 전파무반사실에서 측정 및 분석하였으며, 측정 결과 일정 빔 폭 ±30° 이내에서 약 93% 정도의 양호한 펄스충실도를 얻었다.

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.

참고문헌

[1] Deng. X., Wang. Q., Victor. G., “Structural Health Monitoring Using Active Sensors and Wavelet Transform,” Proceeding of SPIE 1999, Smart Structures and Integrated systems, Newport Beach, 1999, vol. 3668, pp.363-370.

[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] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, and A. Ittipiboon, “Microstrip Antenna Design Handbook,” Artech House, Norwood, MA, 2001.

[4] S. L. Marple Jr., “Computing the discrete-time ’analytic’ signal via FFT,” IEEE Trans. Signal Processing, vol. 47, pp.2600-2603, Sep. 1999.

[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] P. J. Gibson, “The vivaldi aerial,” Proceedings of the 9th European Microwave Conference, pp.101-105, 1979.

[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] 고영목, 나극환, “최적 임펄스 전송을 위한 초광대역 테이퍼 슬롯 안테나 설계”, 한국전자파학회논문지, 21(6), pp.553-563, 2010년 6월.

[13] 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.

[14] 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.

[15] 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.

[16] 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

저자소개

김 종 민 (Kim, Jung-Min)

1988년 : 광운대학교 전자공학과(공학사)
1990년 : 광운대학교 전자공학과(공학석사)
1993년 3월 ~ 2000년 1월 : KT 무선망설계, 무선인터넷 차장
2000년 1월 ~ 2006년 8월 : ㈜고미드 대표
2006년 9월 ~ 2011년 6월 : ㈜페타모스 대표
2012년 8월 ~ 현 재 : 아이디어링크㈜ 대표

고 영 목 (KOH, Young-Mok)

1991년 2월 : 광운대학교 전자공학부(공학사)
1993년 2월 : 광운대학교 전자공학과(공학석사)
2006년 9월 ~ 현 재 : ㈜디에스티
주 관심분야 : Radar System, UWB 시스템, 수치 해석

나 극 환 (Ra, Keuk-Hwan)

1981년 7월 : 프랑스 ENSEEIHT 국립종합과학대학(공학박사)
1981년 9월 ~ 1986년 12월 : 광운대학교 전자공학과부교수
1987년 1월 ~ 1988년 1월 : 미국COS-MST연구소 객원연구원
1988년 2월 ~ 현 재 : 광운대학교 전자공학과 교수