

시간-주파수 분석을 이용한 IR-UWB 안테나 임펄스 분산 특성 분석

Analysis of Impulse Dispersion for IR-UWB Antenna Using Time-Frequency Analysis

고 영 목 · 나 극 환

Young-Mok Koh · Keuk-Hwan Ra

요 약

본 논문에서는 시간-주파수 분석 기법을 이용하여 IR-UWB(Impulse Radio UWB) 안테나의 임펄스 분산 특성 분석에 대해 제시하였다. 최적 임펄스 신호 전송이 가능한 테이퍼 슬롯 안테나와 이동성을 고려한 무지향성 IR-UWB 안테나 4종(마이크로스트립 선로 급전 구조 2종, CPW(Coplanar Waveguide) 급전 구조 2종)을 설계하였으며, 3.1~5.1 GHz UWB 대역에서 각 안테나 링크에 대해 시간-주파수 분석 기법인 STFT(Short Time Fourier Transform)을 이용하여 안테나의 분산 특성을 분석하였다. 따라서 제안된 STFT 기법을 이용할 경우, IR-UWB 안테나의 분산 특성 추출을 위한 시간 영역 임펄스 응답 측정 대안으로 사용이 가능하다.

Abstract

This paper presents an analysis of impulse dispersion for impulse radio ultra-wide band(IR-UWB) antenna. A set of antenna structure configurations are highlighted with verification based on the STFT(Short Time Fourier Transform) in 3.1~5.1 GHz: first, a taper-slotted antenna allowing the optimal impulse transmission, and second, 4 types of the omni-directional IR-UWB antenna using different feed structures(microstrip line, and CPW(Coplanar Waveguide)). The proposed STFT allows the analysis of the IR-UWB antenna's dispersion characteristic.

Key words : Time-Frequency Analysis, STFT, Spectrogram, IR-UWB, Pulse Fidelity

I. 서 론

최근에 UWB 기술은 표면 투과 레이더, 비파괴 시험장비, 산업용 센서, 위치 정밀 추적 장치, 의료 장비 및 무선 통신 등의 다양한 분야에서 상당한 발전을 하여 왔으며 관심이 증가하고 있다^{[9],[10]}. 그러나 UWB의 잠재성에 비해 이 기술을 만들어 가는 데는 여전히 많은 과제가 남아 있다. 이 중에 하나가 UWB 안테나로, 주파수 영역과 시간 영역 모두에서

만족할만한 성능을 제공할 수 있는 UWB 안테나의 요구가 증가하고 있다.

UWB 시스템에서 안테나 성능은 가장 중요한 제한 요소로서, 전체 시스템 성능을 최적화하고 왜곡이 없는 파형을 수신하기 위해 최소 분산 특성을 갖는 안테나가 설계되어야 한다.

최적의 신호 탐지를 위한 UWB 신호는 전자기 펄스 신호의 천이(transient) 특성에 근거하여 여러 문헌에서 폭넓게 다루어 왔다^{[1]~[4]}. 대부분의 연구가 신

「본 논문은 2009년도 광운대학교 연구년에 의하여 연구되었음.」

「본 연구는 민군 겸용 기술 개발 사업비 지원으로 수행되었음.」

광운대학교 전자공학과(Department of Electronics and Communications Engineering, Kwangwoon University)

· 논 문 번 호 : 20100722-095

· 교 신 저 자 : 고영목(e-mail : julius_koh@yahoo.co.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 10월 11일

호의 선형 시불변(LTI: Linear Time Invariant) 특성을 고려한 분석을 수행하였다. 그러나 레이더, 비파괴 시험 장비, 위치 정밀 추적 장치, 의료 장비 등의 표적 인식을 위한 반사 신호 응답은 수분, 미세 먼지, 이온화된 공기 등의 다양한 전자기 산란체와 안테나 재질 및 구조로 인해 전파 특성이 매우 복잡해질 수 있으며, 시간적으로 변화가 심한 non-stationary 신호 특성을 가지므로 인해서, 시간 영역 또는 주파수 영역에서 반사 신호 응답에 대한 모든 정보를 추출하는 것이 불가능하다^{[5],[8]}.

본 논문에서는 IR-UWB 안테나에 대해 주파수 동작 특성을 분석하는 대신, 시간-주파수 분석 기법을 이용하여 IR-UWB 안테나의 임펄스 방사 신호에 대한 전파 분산 특성을 비교 연구하였다. 이를 위해 3.1~10.6 GHz의 UWB 대역에서 동작하는 테이퍼 슬롯 안테나와, 3.1~5.1 GHz의 UWB 서브 대역에서 동작하는 4종류의 무지향성 안테나를 제작하여, 각각의 안테나에 대한 시간 분산 특성을 비교/분석하였다. 제작된 안테나의 시간-주파수 특성 분석은 STFT(Short Time Fourier Transform)를 이용하였으며, 개별 안테나를 이용하여 측정된 펄스 신호의 분산 특성 분석을 통해 IR-UWB 신호 전송에 적합한 최적 안테나에 대한 요구 조건 분석과 발생된 왜곡에 대한 물리적인 현상을 증명하였다.

II. 시간-주파수 분석 기술

2-1 시변 신호의 시간-주파수 표현

초기 IR-UWB 안테나 연구는 대부분 주파수 영역에서 이득 특성과 VSWR 및 방사 패턴 등의 해석에 집중되어 왔다. 그러나 이러한 해석은 air-interface를 통해 전파된 IR-UWB 신호의 모든 특성을 분석하는 것이 충분하지 않으며, 신호의 스펙트럼 표현을 위한 FFT 기술 또한 개별 신호의 주파수 성분에 대한 정확한 발생 시간 정보를 제공할 수 없는 제약에 따라 부족한 기술로 간주되고 있다. 즉, 푸리에 해석에서 사용되는 기저 함수는 신호의 시변 특성을 정확하게 표현하고 특성화하는 것이 어려울 뿐만 아니라^{[9]-[7]}, 대기 중의 물 분자와 먼지 등의 산란체 및 안테나의 재질 및 구조로 인한 전파 분산 특성을 정확하게 특성화하지 못한다.

이러한 시변 신호 특성은 주파수 성분 발생 시간을 시각적으로 관찰할 수 있는 시간-주파수 분석 기술을 통해서 용이하게 분석할 수 있다.

시간-주파수 분석은 무선 통신, 레이더, 소나 의료 장비 등에서 신호 처리와 같은 다양한 응용에 널리 적용되어 왔다. 레이더의 경우, 표적 특성 분석을 단순화 하거나 임펄스 신호 특성을 향상시키기 위해 그리고 특정한 물리적 효과를 강조하거나 억압하기 위해 사용되어 왔다.

H. Ling은 전자기 산란 현상에 대한 시간-주파수 분석의 연구를 통해서 4가지 주요 산란 메커니즘인 파두 현상(wavefront), 공진 현상(resonance), 재질 분산 특성(material dispersion) 및 구조체 분산 특성(structural dispersion)에 대해 정의하였다^{[11],[12],[16]}.

이러한 4가지 주요 산란 메커니즘을 통해서 안테나의 유전체 성질뿐만 아니라 물리적 구조에 대한 분석이 가능하다.

2-2 Short Time Fourier Transform

나노초 단위의 신호를 전송하는 IR-UWB 안테나

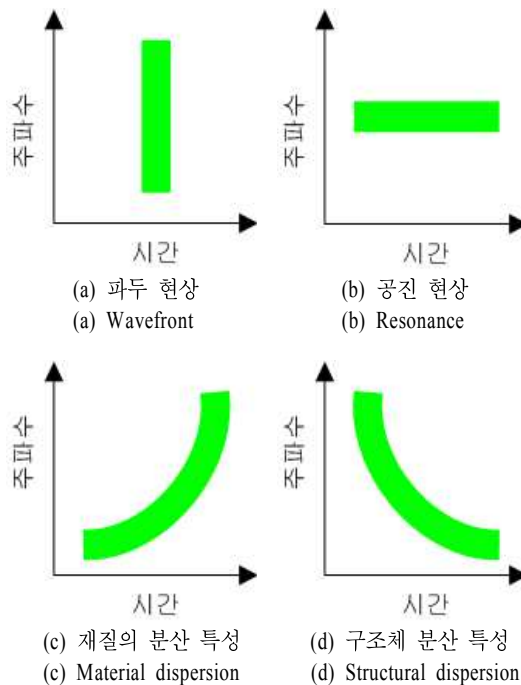


그림 1. 시간-주파수 영역에서 전자기 산란 메커니즘
Fig. 1. Electromagnetic scattering mechanism manifested in the time-frequency domain.

의 재질 및 구조로 인한 전파 분산 특성을 분석하고, 시변 신호 주파수의 정확한 위치 정보 분석이 가능한 시간-주파수 분석 기술 중의 하나인 STFT는 시간 영역에서 신호에 대해 움직이는 윈도우를 적용하고, 그 결과를 주파수 영역으로 푸리에 변환하는 분석 기술로서 1940년대 음성 신호 분석을 위해 처음 적용되었다^[13].

STFT는 시간 영역과 주파수 영역에서 동시에 국부화된 함수를 지저 함수로 이용하여 개발된 것으로 식 (1)과 같다.

$$STFT(t, \omega) = \int s(\tau) W^*(\tau-t) e^{-j\omega\tau} d\tau \quad (1)$$

식 (1)은 시간적으로 국부화된 함수 $W(\tau-t)\exp(-j\omega t)$ 와 신호 $s(\tau)$ 의 내적(inner product)으로 입력 신호와 함수의 유사성을 반영한다. 함수 $W(t)$ 는 일반적으로 좁은 시간 폭을 가지며 윈도우 함수라 한다. 자주 사용되는 윈도우 함수는 Gauss, Hamming, Hanning 및 Kaiser-Bessel 등이 있으며, 가우스 윈도우 함수를 사용한 STFT를 가보 변환(Gabor transform)이라 한다^{[14],[15]}.

STFT 전력 밀도를 스펙트로그램(spectrogram)이라 하는데, 스펙트로그램은 시간 축과 주파수 축의 변화에 따라 진폭 차이를 색상의 농도 차이로 나타내며, 다음 식과 같다^{[16],[17]}.

$$Spec(t, f) = |STFT(t, f)|^2 = \left| \int_{-\infty}^{+\infty} s(\tau) W(\tau-t) e^{-j\omega\tau} d\tau \right|^2 \quad (2)$$

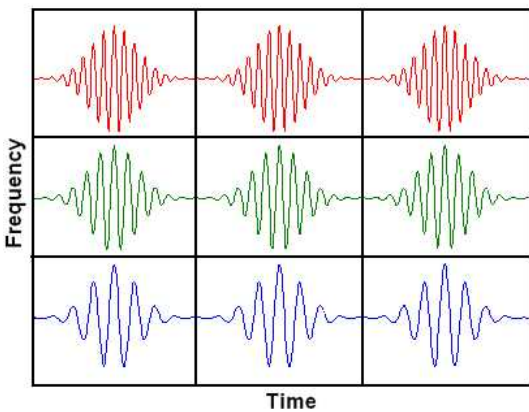


그림 2 STFT 기저 함수
Fig. 2. Basis functions of the STFT.

일반적으로 스펙트로그램에서 부엽 간섭을 줄이기 위해 윈도우 함수는 부드럽게 0으로 줄어들어야 한다. 다음 식과 같이 설정할 경우

$$w(t) = \frac{1}{\pi^{1/4} \sqrt{\sigma}} \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3)$$

대응되는 주파수 영역의 윈도우 함수는 다음 식과 같다.

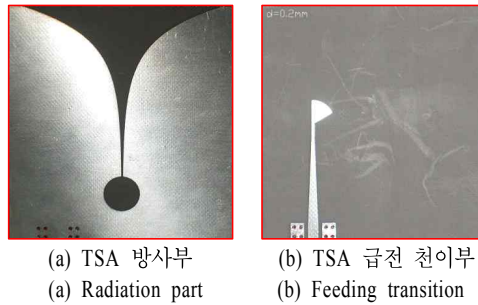
$$W(\omega) = (2\sigma)^{1/2} \pi^{1/4} \exp\left(-\frac{\sigma^2 \omega^2}{2}\right) \quad (4)$$

따라서 가우스 윈도우 함수는 모든 윈도우 함수 중 최적의 시간-주파수 내적을 갖는다.

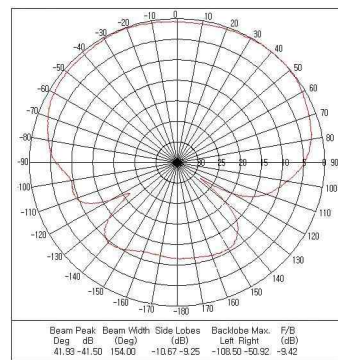
III. IR-UWB 안테나 성능 분석

3.1 방사 패턴 측정 및 임펄스 응답 분석

IR-UWB 안테나의 임펄스 응답과 안테나 분산 특성 분석을 위해 사용된 기준 송신 안테나는 3.1 ~ 10.6 GHz에서 최소 분산 특성을 갖는 그림 3의 테이



(a) TSA 방사부
(a) Radiation part
(b) TSA 급전 천이부
(b) Feeding transition



(c) TSA 방사 패턴(빔 폭 154도) @ 3.5 GHz
(c) Radiation pattern (beamwidth 154°) @ 3.5 GHz

그림 3. 사용된 테이퍼 슬롯 안테나와 방사 패턴
Fig. 3. Tapered slot antenna & radiation pattern.

퍼 슬롯 안테나를 사용하였으며^[18], 펄스 분산 특성 비교분석을 위해 3.1~5.1 GHz에서 동작하는 4종의 무지향성 안테나를 설계하였다. 설계된 무지향성 안테나는 디스크 모노폴의 평면 구조로, 마이크로스트립 급전 구조를 갖는 안테나 2종과 CPW(Coplanar Waveguide) 급전 구조를 갖는 안테나 2종을 제작하였다. 제작된 4종의 안테나 크기는 40 mm×40 mm이며, 안테나 구조와 무반사실에서 측정한 방사 패턴은 그림 4와 같다.

제작된 안테나의 분산 특성 분석을 위해 안테나 링크 구성을 하여 수신 임펄스 응답을 측정하였다. 측정된 임펄스 응답은 안테나의 펄스 충실도와 시간-주파수 영역에서 분산 특성을 분석하기 위해 활용하였다. 먼저 테이퍼 슬롯 안테나 링크의 임펄스 응답을 측정하였으며, 이를 이용하여 각 수신 안테나

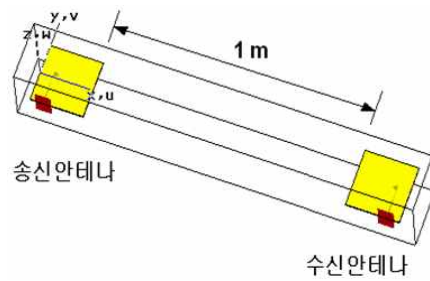
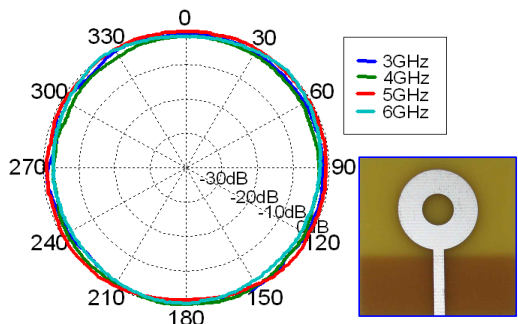
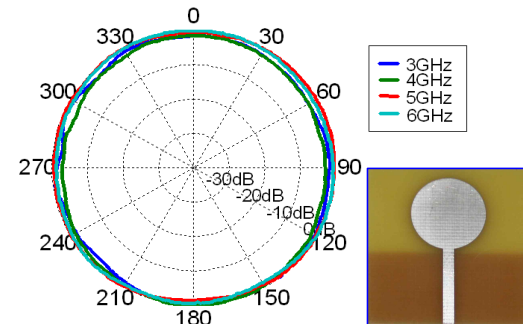


그림 5. 안테나 무선 링크 구성도
Fig. 5. Antenna link configuration.

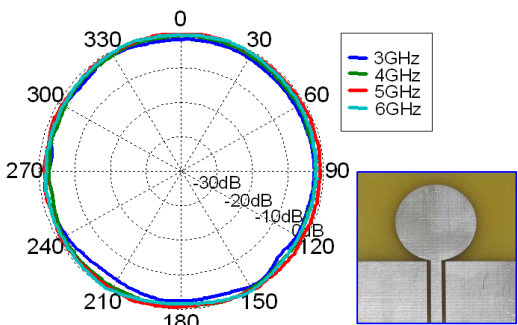
에서 수신된 펄스 파형에 대해 성능 분석을 하였다. 기준 안테나와 수신 안테나로 사용된 4종의 무지향성 안테나와의 무선 링크를 위한 이격 거리는 약 1미터로 하였다. 기준 안테나는 식 (5)와 같이 시간 영역에서 코사인 변조된 가우시안 임펄스 진폭 변조로



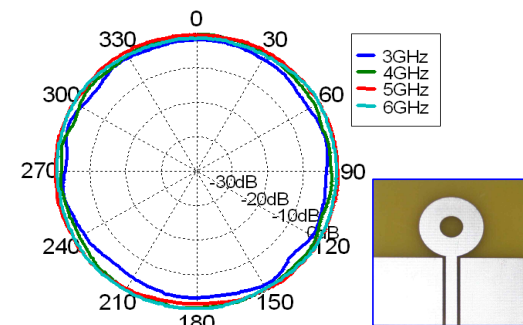
(a) 마이크로스트립 선로 급전 구조의 무지향성 안테나 #1 방사 패턴
(a) Microstrip-line feeding omni-directional antenna #1 radiation pattern



(b) 마이크로스트립 선로 급전 구조의 무지향성 안테나 #2 방사 패턴
(b) Microstrip-line feeding omni-directional antenna #2 radiation pattern

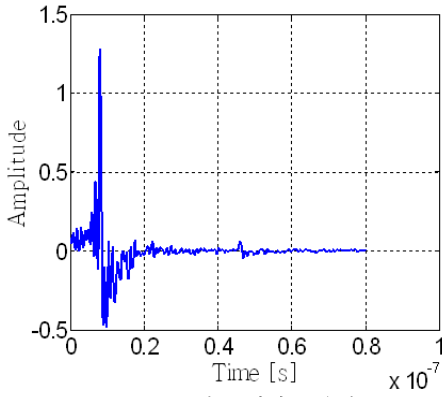


(c) CPW 급전 구조의 무지향성 안테나 #3 방사 패턴
(c) CPW feeding omni-directional antenna #3 radiation pattern

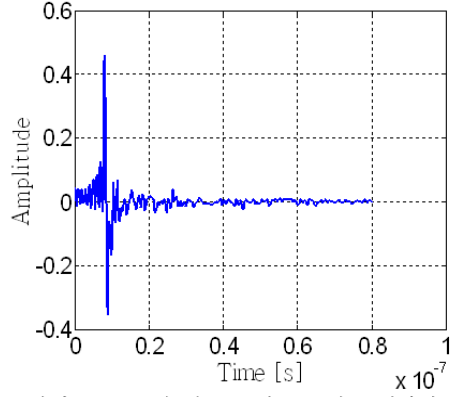


(d) CPW 급전 구조의 무지향성 안테나 #4 방사 패턴
(d) CPW feeding omni-directional antenna #4 radiation pattern

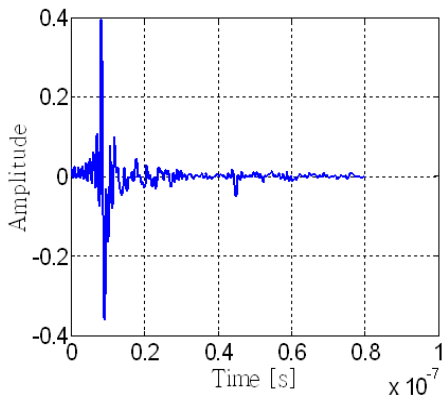
그림 4. 각 안테나의 방사 패턴 측정 결과
Fig. 4. Radiation pattern for each antenna.



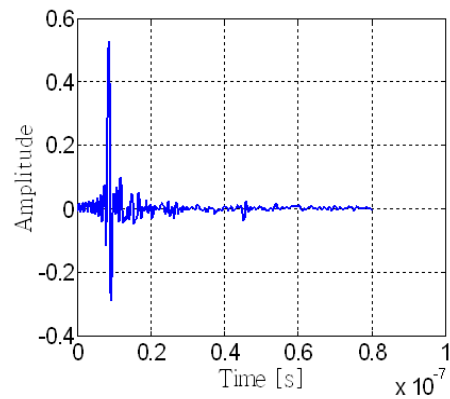
(a) TSA-TSA 링크 임펄스 응답
(a) Impulse response of TSA-TSA link



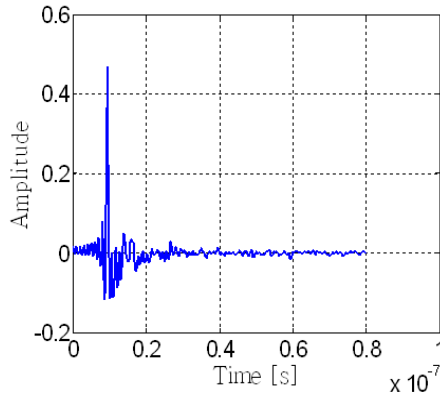
(b) 마이크로스트립 선로 급전 구조의 무지향성 안테나 #1 링크 임펄스 응답
(b) Impulse response of microstrip-line feeding omnidirectional #1 link



(c) 마이크로스트립 선로 급전 구조의 무지향성 안테나 #2 링크 임펄스 응답
(c) Impulse response of microstrip-line feeding omnidirectional #2 link

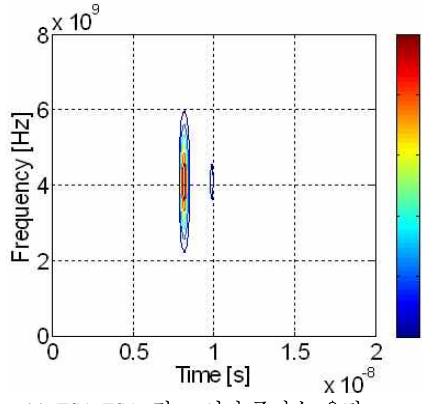


(d) CPW 급전 구조의 무지향성 안테나 #3 링크 임펄스 응답
(d) Impulse response of CPW feeding omnidirectional #3 link

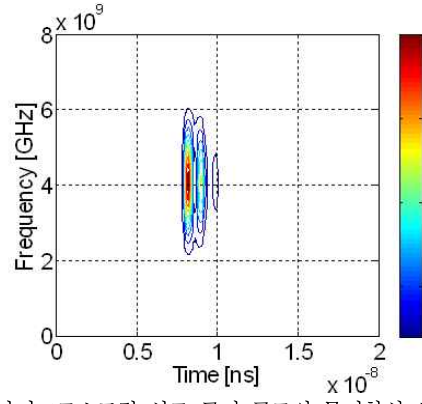


(e) CPW 급전 구조의 무지향성 안테나 #4 링크 임펄스 응답
(e) Impulse response of CPW feeding omnidirectional #4 link

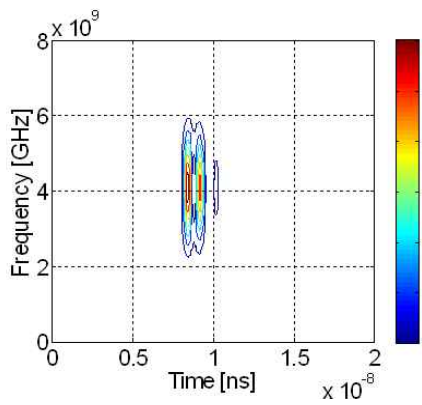
그림 6. 각 측정 안테나에서의 수신 펄스 파형
Fig. 6. Received pulse for each antenna.



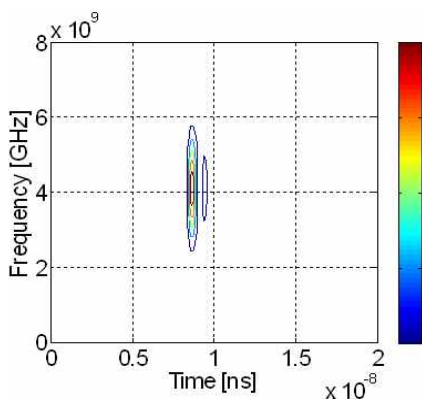
(a) TSA-TSA 링크 시간-주파수 응답
(a) Time-frequency response of TSA-TSA link



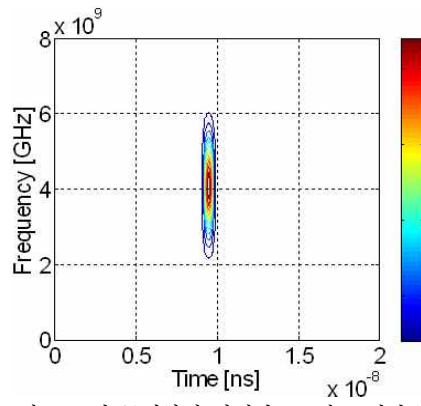
(b) 마이크로스트립 선로 급전 구조의 무지향성 안테나 #1 링크 시간-주파수 응답
(b) Time-frequency response of microstrip-line feeding omni-directional #1 link



(c) 마이크로스트립 선로 급전 구조의 무지향성 안테나 #2 시간-주파수 응답
(c) Time-frequency response of microstrip-line feeding omni-directional #2 link



(d) CPW 급전 구조의 무지향성 안테나 #3 링크 시간-주파수 응답
(d) Time-frequency response of CPW feeding omni-directional #3 link



(e) CPW 급전 구조의 무지향성 안테나 #4 링크 시간-주파수 응답
(e) Time-frequency response of CPW feeding omni-directional #4 link

그림 7. 각 안테나 링크의 시간-주파수 응답
Fig. 7. Time-frequency response for each antenna link.

여기한다. 이러한 코사인 변조된 가우시안 펄스는 발진 신호와 진폭 포락선에 대해 개별적으로 제어 가능하다^{[18],[19]}.

$$g(t) = A \cdot \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma^2}\right) \cos(2\pi f_0 t) \quad (5)$$

여기서 A: 펄스 진폭

σ : 0차 가우시안 포락선의 표준 편차

f_0 : 정현파 함수의 주파수

3.1~10.6 GHz에서 동작하는 기준 안테나의 경우 1미터 이격 거리는 레일레이 far 필드 조건식 (6)을 만족한다^[10].

$$R \gg \frac{2D^2}{\lambda} \quad (6)$$

코사인 변조된 가우시안 펄스 여기 신호(excited signal)는 무지향성 안테나의 방사 대역을 고려하여 3.1~5.1 GHz로 하였으며, 각각의 무지향성 수신 안테나에서 수신된 파형은 그림 6과 같다.

그림 6의 수신 신호 파형 비교를 통해 알 수 있는 것처럼 각 수신 신호 펄스에 약간의 차이가 있다. 이러한 수신 신호 파형으로부터 펄스 폭의 미세한 차와 진폭 왜곡을 결정하는 것은 어렵다. 따라서 각 안테나의 펄스 응답으로부터 안테나의 시간 분산 특성을 명확하게 구분하기 위해서 각 수신 파형에 대한 시간-주파수 분석을 위한 스펙트로그램을 계산하여 표현하면 그림 7과 같다.

그림 7의 시간-주파수 분석에서 기준 안테나와 비교하여 무지향성 안테나의 펄스 분산 특성이 다소 열화되어 있다. 이것은 그림 6의 시간 영역 펄스 파형 비교를 통해서 알 수 없는 사실로서, 펄스 신호가 대기를 통해서 진행하면서 대기에 포함된 물 분자와 미세 먼지를 포함한 각종 미립자 등으로 인한 산란 현상과 안테나의 재질 및 구조로 인한 펄스 분산 특성이 합성되어 나타난 것이다.

그림 7(b), (c)와 그림 7(d), (e)의 비교에서 알 수 있듯이 마이크로스트립 급전 구조로 설계된 무지향성 UWB 안테나의 시간-주파수 응답 (b), (c)는 CPW 급전 구조로 설계된 무지향성 UWB 안테나의 시간-주파수 응답 (d), (e)보다 열화되어 나타났다. 두 안테나 이격 거리가 그림 5와 같을 경우, 대기에 포함된

물질로 인해 대기를 통해 전송되는 펄스의 분산에 미치는 영향은 미미할 것으로 예상되며, 또한 동일한 유전율($\epsilon_r = 4.7$)을 갖는 재질을 이용하여 안테나를 제작하였으므로 안테나 재질로 인한 영향 또한 미미하다고 가정할 수 있으므로, 그림 7의 측정 결과에서 나타난 무지향성 안테나의 시간축을 따라 분산된 펄스 특성은 주로 안테나 구조로 인한 분산 특성이 지배적임을 알 수 있다.

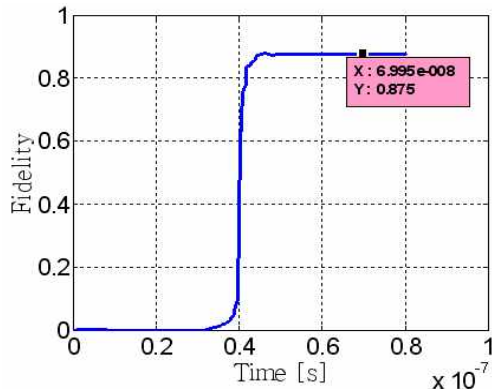
따라서 그림 7의 시간-주파수 분석에서 CPW 급전 구조가 임펄스 신호 전송에서 마이크로스트립 급전 구조보다 분산 특성이 양호할 뿐만 아니라 진폭 왜곡에도 유리하다는 것을 알 수 있다.

최소 신호 왜곡 관점에서 정규화된 가우시안 펄스 여기 신호와 far 필드에서 수신된 정규화된 수신 신호와의 펄스 충실도는 UWB 안테나의 수신 신호 품질을 나타낸다^[18]. 그림 8은 UWB 안테나 4종에 대해 테이퍼 슬롯 안테나를 기준으로 펄스 충실도 계산 결과이다. 4종의 UWB 안테나의 펄스 충실도는 각각 0.875, 0.7941, 0.8268 및 0.8863으로, 이 분석 결과는 앞서의 시간-주파수 분석과 유사한 결과를 나타내지만, 시간-주파수 분석이 펄스 충실도 분석보다 펄스분산 결과를 그래픽으로 표현함으로써 분산 결과를 직관적으로 평가할 수 있음을 알 수 있다.

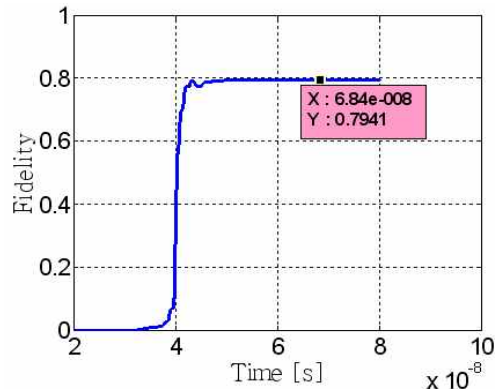
IV. 결 론

본 논문에서 제시한 시간-주파수 분석 기술은 IR-UWB 안테나와 같은 임펄스 신호 전송을 위한 초광대역 안테나의 전파 분산 특성 분석을 위한 시간영역 임펄스 응답 분석 방법의 대안으로서, 안테나의 지연 및 분산 특성을 2차원 시간-주파수 평면에서 표현할 수 있다. 안테나 링크를 통해 수신된 임펄스 신호에 대한 직접적인 전파지연 측정을 관찰하고 분석하기 위한 시간-주파수 분석 기술은 안테나 구조로 인한 분산 특성에 대해 직관적인 결과를 제공한다. 따라서 시간-주파수 분석 기술을 이용하여 전체 주파수 대역에서의 임펄스 신호의 시간 지연 특성을 비교분석함으로써 안테나의 대역 특성을 평가하는 것이 가능하다.

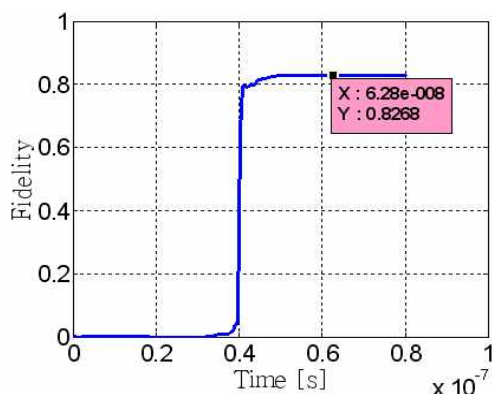
따라서 본 논문에서 제시한 시간-주파수 분석 방법인 STFT는 IR-UWB 안테나의 분산 특성 추출을



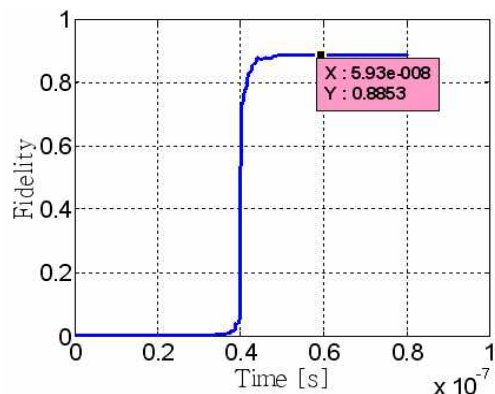
(a) 마이크로스트립 선로 급전 구조의 무지향성 안테나 #1 링크 펄스 충실도
(a) Pulse fidelity of microstrip-line feeding omnidirectional #1 link



(b) 마이크로스트립 선로 급전 구조의 무지향성 안테나 #2 링크 펄스 충실도
(b) Pulse fidelity of microstrip-line feeding omnidirectional #2 link



(c) CPW 급전 구조의 무지향성 안테나 #3 링크 펄스 충실도
(c) Pulse fidelity of CPW feeding omnidirectional #3 link



(d) CPW 급전 구조의 무지향성 안테나 #4 링크 펄스 충실도
(d) Pulse fidelity of CPW feeding omnidirectional #4 link

그림 8. 각 안테나 링크에 대한 펄스 충실도
Fig. 8. Pulse fidelity for each antenna link.

위한 시간 영역 임펄스 응답 측정 대안으로 사용이 가능함을 알 수 있다.

참 고 문 헌

[1] A. M. Nicolson, "Broad-band microwave transmission characteristics from a single measurement of the transient response", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. IM-17, no. 4, pp. 395-402, Dec. 1968.

[2] A. M. Nicolson, G. F. Ross, "Measurement of the intrinsic properties of materials by time-domain techniques", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. IM-19, no. 4, pp. 377-382, Nov. 1970.

[3] Marion E. Hines, Harold E. Stinehelfer, "Time domain oscillograph microwave network analysis using frequency domain data", *IEEE MTT*, vol. MTT-22, no. 3, pp. 276-282, Mar. 1974.

[4] A. M. Nicolson, C. Leonard Bennett, JR., David Lamensdorf, and Leon Susman, "Applications of time-domain metrology to the automation of broad-band microwave measurements", *IEEE MTT*, vol. MTT-20, no. 1, pp. 3-9, Jan. 1972.

[5] M. Kulesh, M. Holschneider, M. S. Diallo, Q. Xie,

- and F. Scherbaum, "Modeling of wave dispersion using continuous wavelet transforms", *Pure App. Geophy.*, vol. 162, no. 5, pp. 843-855, 2005.
- [6] L. Cohen, "Time-frequency distributions - A review", *Proc. IEEE*, vol. 77, no. 7, pp. 941-979, Jul. 1989.
- [7] L. Cohen, *Time-Frequency Analysis*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1995.
- [8] H. T. Shamansky, A. K. Dominek, and L. Peters, "Electromagnetic scattering by a straight thin wire", *IEEE Trans. on Antennas & Propagation*, vol. 37, no. 8, pp. 1019-1025, Aug. 1989.
- [9] X. Deng, Q. Wang, and G. Victor, "Structural health monitoring using active sensors and wavelet transform", *Proceeding of SPIE 1999, Smart Structures and Integrated Systems*, Newport Beach, vol. 3668, pp. 363-370, 1999.
- [10] J. D. McKinney, D. Peroulis, and 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.
- [11] V. C. Chen, H. Ling, *Time-Frequency Transforms for Radar Imaging and Signal Analysis*, Artech House, Boston, MA, 2002.
- [12] H. Kim, H. Ling, "Wavelet analysis of electromagnetic backscatter data", *Electronics Letters*, vol. 28, no. 3, pp. 279-281, Jan. 1992.
- [13] D. Gabor, "Theory of communication", *J. Inst. Electron. Eng.*, vol. 93, no. 11, pp. 429-457, Nov. 1946.
- [14] J. B. Allen, L. R. Rabiner, "A unified approach to short-time Fourier analysis and synthesis", *Proc. IEEE*, vol. 65, pp. 1558-1566, 1977.
- [15] Y. Zhang, Z. Guo, and W. Wang, "A comparison of the wavelet and short-time Fourier transforms for Doppler spectral analysis", *Medical Engineering and Physics*, vol. 25, pp. 547-557, 2003.
- [16] V. Chen, Hao Ling, "Joint time-frequency analysis for radar signal and image processing", *IEEE Signal Processing Magazine*, pp. 81-93, Mar. 1999.
- [17] J. C. S. Cardoso, M. G. Ruano, and P. J. Fish, "Nonstationarity broadening reduction in pulsed Doppler spectrum measurements using time-frequency estimators", *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 43, pp. 1176-1186, 1996.
- [18] 고영목, 나극환, "최적 임펄스 전송을 위한 초광대역 테이퍼 슬롯 안테나 설계", *한국전자과학 회논문지*, 21(6), pp. 553-563, 2010년 6월.
- [19] Z. Ning Chen, X. H. Wu, and H. F. Li, "Considerations for source pulses and antennas in UWB radio system", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 52, no. 7, pp. 1739-1748. Jul. 2004.
- [20] J. D. McKinney, A. M. Weiner, "Compensation of the effects of antenna dispersion on UWB waveforms via optical pulse shaping techniques", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 54, no. 4, pp. 1681-1686, 2006.

고 영 목



1991년 2월: 광운대학교 전자공학부 (공학사)
 1993년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학석사)
 2006년 9월~현재: (주) 디에스티 [주 관심분야] Radar System, UWB Antenna, 수치 해석

나 극 환



1981년 7월: 프랑스 ENSEEIHT 국립종합과학대학 (공학박사)
 1981년 9월~1986년 12월: 광운대학교 전자공학과 부교수
 1987년 1월~1988년 1월: 미국 COSMST연구소 객원연구원
 1988년 2월~현재: 광운대학교 전자공학과 교수
 [주 관심분야] RF 및 마이크로파 통신 시스템, 밀리미터파 통신 시스템, 수치 해석