

논문 2005-42TC-12-22

임펄스 전파 채널에서의 초광대역 안테나 영향 연구

(Investigation of Influences of UWB Antennas on Impulse Radio Channel)

박 영 진*, 송 종 화**, 김 관 호*

(Young-Jin Park, Jong-Hwa Song, and Kwan-Ho Kim)

요 약

본 논문은 임펄스 전파 채널 측정에 있어서, 사용된 초광대역 (Ultra Wideband) 안테나가 시간 및 주파수 영역에서 임펄스 전파 채널에 미치는 영향을 기술하고자 한다. 임펄스 전파 채널에서의 초광대역 안테나의 영향을 해석하기 위해, 우선 초광대역 안테나의 임펄스 응답을 구하였고, 이를 이용하여 초광대역 안테나의 영향이 배제된 임펄스 전파 채널 해석 방법을 제시하였다. 이론적 증명을 위해, 임펄스 전파 채널 측정을 위한 변형된 초광대역 코니컬 모노폴 안테나를 설계, 제작하였고 무반향 반사실에서의 전달 특성을 측정하여 초광대역 안테나의 임펄스 응답을 도출하였다. 또한, 임펄스 전파 채널 상에서의 초광대역 안테나에 대한 영향을 해석하기 위해, 무반향 반사실에서 다중경로 환경을 만들어 주파수 영역에서 벡터 회로망 분석기를 사용하여 전달 특성을 측정하였다. 주파수 영역에서 측정된 데이터는 신호 처리 과정을 거쳐 시간 영역의 신호로 변환하였다. 측정된 결과로부터, 안테나의 특성이 임펄스 전파 채널에 영향을 미침을 확인하였다. 또한, 초광대역 안테나의 임펄스 응답을 사용하여 순수하게 다중경로 채널에 의한 임펄스 응답을 구하였다.

Abstract

In this paper, influences of a ultra wideband (UWB) antenna on impulse channel measurement are investigated in time domain (TD) and frequency domain (FD) as well. Firstly, impulse response of an UWB antenna is obtained and then using the result of impulse response of the UWB antenna, influences of the antenna on impulse radio channel is analyzed. Furthermore, using the impulse response of the UWB antenna, method of impulse radio channel analysis is presented by excluding the effect of the antenna from an impulse radio channel. For verifying the theory, a modified conical monopole antenna is designed for measuring impulse radio channel and its impulse response is obtained. After that, in order to investigate the effects of the UWB antenna on an impulse radio channel, multipath environments are set up in an anechoic chamber and transmission coefficient for each multipath environment is measured with an aid of vector network analyzer. Data measured in frequency domain is transformed into those in time domain by way of signal processing. Measurement shows that such properties of the antenna as dispersion and ringing affect impulse radio channel. Moreover, using the impulse response of the antenna, impulse response of only multipath channel is obtained.

Keywords : Impulse response, impulse channel measurement, UWB conical monopole antenna

I. 서 론

시간영역에서 수 나노 세컨드 (ns) 이하의 폭을 갖는 임펄스를 이용한 Ultra Wideband (UWB) 무선통신 기술은 매우 낮은 전력을 사용하여, 근거리에서 수백 Mbps의 데이터 전송이 가능하고, 센티미터급의 고정밀 위치추적이 가능하며, 최근 활발히 연구가 진행되고 있

다. 초광대역 기술은 극초단의 임펄스를 사용하기 때문에 시스템 구현 및 해석상에 있어 협대역 시스템의 경우와 많은 부분에서 다르다. 특히, 통신 시스템 설계의 기초가 되는, 임펄스 전파 채널 측정은 광대역 신호 특성 때문에 다양한 방법으로 연구되었으며, 지금까지 임펄스 전파 채널 해석 및 모델링에 관한 논문이 나왔다.^{[1]-[3]}

그러나, 협대역 통신 채널의 경우는 주파수 영역에서 안테나의 특성이 거의 일정하다고 가정할 수 있기 때문에 안테나의 특성을 고려하지 않았으나, 초광대역 임펄스 전파 채널에서는 고유한 임펄스 전파 채널 이외에

* 정회원, 한국전기연구원
(Korea Electrotechnology Research Institute),
** 정회원, 과학기술연합 대학원대학교
(University of Science and Technology).

접수일자: 2005년8월7일, 수정완료일: 2005년12월7일.

초광대역 안테나의 특성이 포함되어있어, 지금까지 정확한 임펄스 전파 채널에 대한 해석이 어려웠다. 즉, 초광대역 안테나를 포함한 채널은 안테나에 의한 분산 (dispersion), 주파수에 따른 반사특성, 떨림 (ringing)이 사용된 안테나에 따라 다르므로, 구하고자 하는 원래의 임펄스 전파 채널은 초광대역 안테나의 특성에 따라, 해석 결과가 달라진다.

본 논문에서는 초광대역 안테나가 임펄스 전파 채널 전체에 미치는 영향을 조사하였고, 이를 근거로 초광대역 안테나의 영향을 고려한 순수한 임펄스 전파 다중경로 채널 해석 방법을 기술하고자 한다. 이를 위해, 우선, 초광대역 안테나의 임펄스 응답 특성이 임펄스 전파 채널측정에 영향을 미치는 실험적으로 증명하고, 정확한 임펄스 채널 모델링을 위해 초광대역 안테나 임펄스 응답특성이 채널 측정 이전에 고려되어야 함을 보이고자 한다.

이론의 증명을 위해, 본 논문에서는 임펄스 전파 채널 측정을 위한 초광대역 코니컬 모노폴 (conical monopole) 안테나를 설계, 구현하였고, 이에 대한 임펄스 응답을 유도하였다. 또한, 안테나의 특성이 전파 특성에 미치는 영향을 고려하기 위해, 무반향 반사실에서 다중경로 환경을 구축하였다. 다중경로 전파 채널을 해석하기 위해, 구해진 안테나 임펄스 응답을 사용하여, 순수하게 다중경로 채널에 의한 임펄스 전파 채널 임펄스 응답을 구하였다.

본론에서는 초광대역 안테나의 임펄스 응답 도출 방법, 초광대역 안테나의 영향을 배제한 다중경로 임펄스 전파 채널에 대한 임펄스 응답을 구하는 방법을 구체적으로 기술한다. 또한, 측정 및 계산 결과들을 제시하고자 한다.

II. 본 론

1. 이 론

가. UWB 안테나의 주파수 응답

그림 1은 하나의 다중 경로를 갖는, 임펄스 전파 채널을 간단하게 나타낸 것이다. $H_{Tx}(\omega)$ 와 $H_{Rx}(\omega)$ 는 UWB 송신 (Tx) 및 수신(Rx) 안테나의 전달함수이며, 송수신 안테나 사이는 거리 R 만큼 떨어져 있다. 다중 경로 환경을 만들기 위해 금속판을 사용하였으며, 전체 경로 길이는 R_m 이다. $H_{p1}(\omega)$ 와 $H_{p2}(\omega)$ 는 각각 LOS (Line of sight)와 다중경로에 의한 전달함수를 말한다.

송신 안테나와 수신 안테나가 전기적 특성이 같고, 다중 경로가 없다고 가정하면 (즉, 금속판이 없음), 신

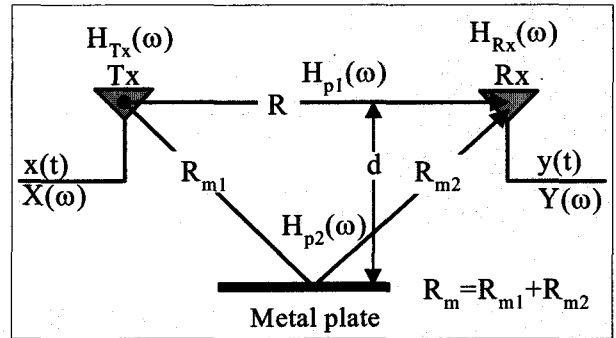


그림 1. 다중경로 환경의 임펄스 전파 채널 구성도
Fig. 1. Configuration of impulse radio channel with a multipath.

호의 입출력 관계로부터,

$$\frac{Y(\omega)}{X(\omega)} = j\omega \cdot [H_{Tx}(\omega)]^2 \cdot H_{p1}(\omega) \quad (1)$$

입력과 출력의 관계는 벡터 회로망 분석기를 이용하여 측정한 $S_{21}(\omega)$ 과 같으므로 UWB안테나의 전달함수는 다음과 같이 구할 수 있다.^{[4]-[6]}

$$H_{Tx}(\omega) = \sqrt{\frac{S_{21}(\omega) \cdot H_{p1}(\omega)}{j\omega}} \quad (2)$$

여기서, 채널의 전달함수 $H_{p1}(\omega)$ 은 다중경로가 없으므로,

$$H_{p1}(\omega) = \frac{1}{2\pi Rc} e^{-j\omega R/c}, c = 3 \times 10^8 m/s \quad (3)$$

나. 다중경로 환경에서 임펄스 전파채널의 임펄스 응답

그림 1로 부터 다중경로 채널의 경우,

$$\frac{Y(\omega)}{X(\omega)} = j\omega \cdot [H_{Tx}(\omega)]^2 \cdot H_{p2}(\omega) \quad (4)$$

위의 실험과 마찬가지로 입력과 출력의 관계는 벡터 회로망 분석기로 구한 $S_{21}^*(\omega)$ 로 표현할 수 있다. 다중경로 채널만의 전달함수 $H_{p2}(\omega)$ 는 식 (5)와 같이 구할 수 있다.

$$H_{p2}(\omega) = \frac{S_{21}^*(\omega)}{[H_{Tx}(\omega)]^2 \cdot j\omega} \quad (5)$$

벡터 회로망 분석기로 측정한 $S_{21}^*(\omega)$ 와 다중경로가 없을 때 $S_{21}(\omega)$ 에서 식(2)로 구한 안테나의 전달함

수 $H_{Tx}(\omega)$ 를 이용하여, 초광대역 안테나의 특성이 배제된 순수한 채널의 주파수 응답, $H_{p2}(\omega)$ 를 구할 수 있다. 최종적으로 구하고자 하는 순수한 채널만의 임펄스 응답, $h_{p2}(t)$ 는 $H_{p2}(\omega)$ 에 IDFT (Inverse Discrete Fourier Transform)를 취하여 구할 수 있다.

$$h_{p2}(t) = IDFT\{H_{p2}(\omega)\} \quad (6)$$

다. IDFT (Inverse Discrete Fourier Transform)

시간 영역에서의 임펄스 전파 특성을 해석하기 위해, 주파수 영역에서 얻어진 이산신호를 적절하게 시간영역으로 변환하는 과정이 필요하다. 주파수 영역에서의 값들을 단순히 IDFT해서는 정확한 결과를 얻을 수 없기 때문에, 주파수 영역의 값들을 이용하여 유사 해석적 이산 시간 신호 (analytic-like discrete-time signal), $z(t_n) = z[n]$ 를 구해야 한다.^[7] 즉, 벡터 회로망 분석기를 이용하여 얻어진 측정값 $X(f_m) = X(m)$ 을 이용하여, 유사 이산 시간 신호 $z[n]$ 을 얻기 위해, $Z[m] = DFT(z[n])$ 을 아래와 같이 만들 수 있다.

$$Z[m] = \begin{cases} X[m] & \text{for } m = 0 \\ 2X[m] & \text{for } 1 \leq m \leq N-1 \\ X[N] & \text{for } m = N \\ 0 & \text{for } N+1 \leq m \leq 2N-1 \end{cases} \quad (7)$$

식 (7)에서 구한 주파수 영역의 신호 $Z[m]$ 을 IDFT를 수행하여 시간영역으로 변환하게 되면, 복소수 값을 갖는 유사 해석 이산신호, $z[n] = z_r[n] + jz_i[n]$ 을 얻는다. 여기서, $z_r[n]$ 은 $z[n]$ 의 실수부 $Re\{z[n]\}$ 를 말하며, $z_i[n]$ 은 $z[n]$ 의 허수부 $Im\{z[n]\}$ 를 말한다. 이 중에 실제 측정되는 신호는 $z_r[n]$ 이며, $z_i[n]$ 는 실제 신호의 Hilbert transform한 신호이다. 그러므로 구하고자 하는 $X[m]$ 의 시간 영역에서의 신호, $x[n]$ 은 식(8)과 같이 $Z[m]$ 의 IDFT의 실수부로 구할 수 있다.

$$x[n] = IDFT\{X[m]\} = Re\{IDFT\{Z[m]\}\} \quad (8)$$

2. 초광대역 코니컬 모노폴 안테나.

임펄스 전파 채널 측정을 위해서 초광대역 코니컬 모노폴 안테나를 설계, 제작하였다. 사용 주파수 대역은 미국 FCC에서 규정한 UWB 통신 대역을 고려하여, 3GHz부터 10GHz로 설정하였다. Ansoft HFSS를 이용하여 시뮬레이션 하였으며, 안테나의 구조는 그림 2(a)와 같다.

안테나의 급전을 위해, SMA 커넥터가 사용되었다. 위 corn의 넓이 (80mm)보다 아래 corn의 넓이 (100mm)를 크게 하여, 낮은 주파수까지도 지면 (Ground)에 의한 영향을 최소화 하였다. 또한, 위 corn 하중이 작도록 고갈의 내부를 비워, 단순히 SMA 커넥터 만으로도 지지가 가능하도록 하였다.

그림 2(b)는 안테나의 반사 특성 (S_{11})에 대한 시뮬레이션과 측정결과를 나타내었다. 측정을 위해 Agilent E8363B를 사용하였다. 그림에서 알수 있듯이 안테나는 반사 계수의 관점에서 광대역 특성을 가짐을 알 수 있다.

3. 초광대역 안테나 임펄스 응답 및 임펄스 전파 채널 측정

초광대역 안테나가 임펄스 전파 채널에 미치는 영향을 해석하기 위해, 무반향 반사실에서 그림 1과 같이 측정 셋업을 구성하였다. 송수신 안테나 사이의 거리는 $R=1.5m$, 지면에서 안테나 중심까지의 거리는 $1.65m$ 로 고정하였다. 측정을 위해 Agilent사의 E8363B를 사용하

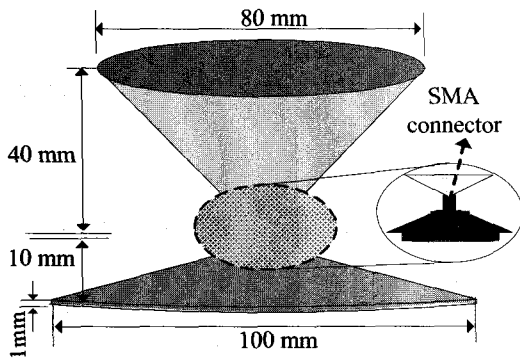


그림 2(a). 초광대역 코니컬 모노폴 안테나 구조.
Fig. 2(a). Schematic diagram of modified UWB conical antenna.

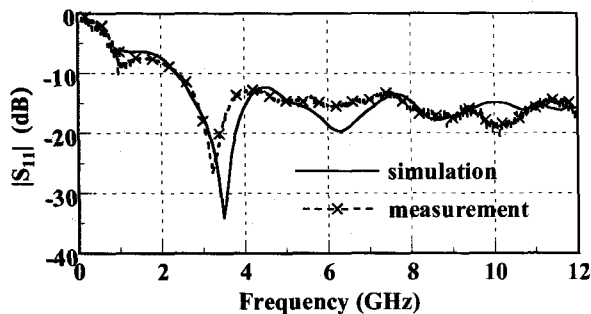


그림 2(b). 초광대역 코니컬 모노폴 안테나의 반사계수 (S_{11}) 시뮬레이션 및 측정
Fig. 2(b). Simulated and measured reflection coefficient S_{11} of the UWB conical monopole antenna.

였다. 주파수 영역은 10 MHz에서부터 12.01 GHz까지를 대상으로 했다. 시간영역에서의 측정에는 Lecroy사의 wavemaster 8600A를 사용하였다.

다중 경로를 만들기 위해, 1m×1m 크기의 금속 도체를 LOS의 중심에서 수직방향으로 R 만큼 떨어지고, 안테나와 같은 높이에 위치하여 측정하였다. 송수신 안테나는 제작된 초광대역 코니컬 모노폴 안테나를 사용하였다.

가. 송수신 안테나의 임펄스 응답

송수신 안테나의 임펄스 응답을 구하기 위해, 송수신 안테나는 동일한 안테나를 사용하였기 때문에, 두 안테나의 전기적 특성이 동일한 것으로 가정한다. 우선, 안테나의 임펄스 응답을 구하기 위하여, 무반향 반사실에서 금속판 없이, 두 안테나 사이의 $S_{21}(\omega)$ 을 측정한다. 이때, 식 (1), (2)를 이용하여 안테나의 임펄스 응답을 구할 수 있고, 그림 3과 같다. 그림에서처럼, 최고 첨두치에서 0.43ns 떨어진 위치에서 안테나의 떨림(ringing)이 관측된다. 또한, FWHM(full width at half maximum: $W_{0.5}$)^{[8][9]}는 58 ps(picosecond)였다.

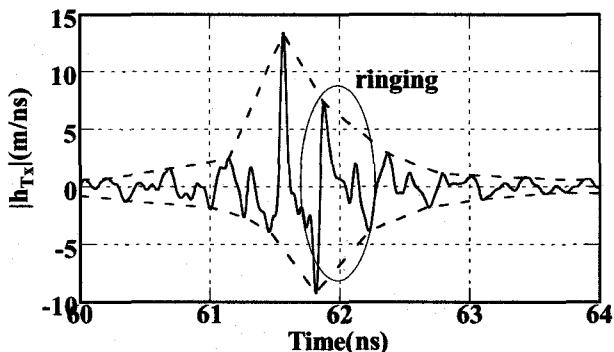


그림 3. UWB conical monopole 안테나 임펄스 응답.
Fig. 3. Impulse response of the UWB conical monopole antenna.

나. 다중경로 임펄스 전파채널의 측정

안테나의 특성이 임펄스 전파 채널 측정에 어떤 영향을 주는지 검증하기 위해서 무반향 무반사실에서 금속판을 사용하여 다중경로를 갖는 환경을 그림 1과 같이 구성하였다. 금속판은 안테나의 편파와 평행하게 설치하였으며, 송수신 안테나의 LOS 축에서 금속판을 0.5m, 1.5m 떨어지게 고정시키고 (d=0.5m, 1.5m) 임펄스 전파 채널의 투과계수 $S_{21}(\omega)$ 을 측정했다.

그림 4는 금속판을 중심축으로부터 0.5m, 1.5m 떨어진 곳에 놓고 측정한 투과계수 $S_{21}(\omega)$ 을 IDFT하여 시간 영역에서 구한 채널 전달 함수이다. 그림에서처럼

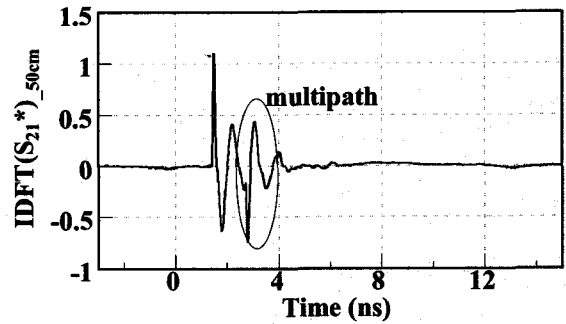


그림 4(a). 0.5m 다중경로의 경우 안테나를 포함한 채널 임펄스 응답

Fig. 4(a). Impulse response of channel for d=0.5m including antenna effects.

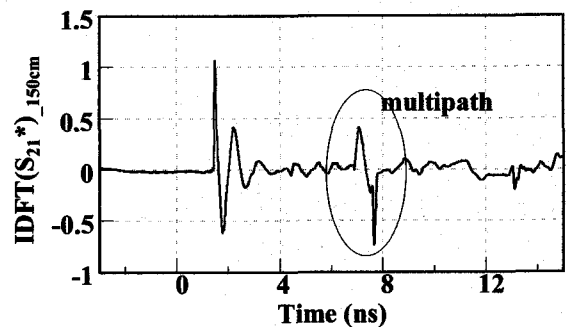


그림 4(b). 150cm 다중경로의 경우 안테나를 포함한 채널 임펄스 응답

Fig. 4(b). Impulse response of channel for d=1.5 m including antenna effects.

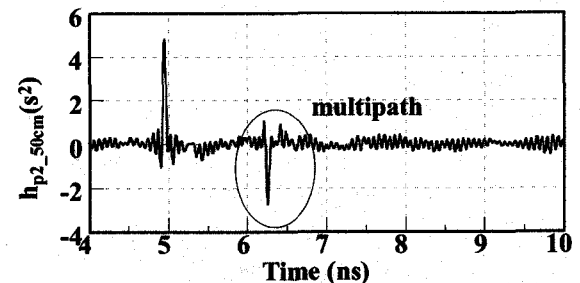


그림 5(a). 50cm 다중경로 경우 $h_{p2}(t)$

Fig. 5(a). Impulse radio channel for d=0.5 m.

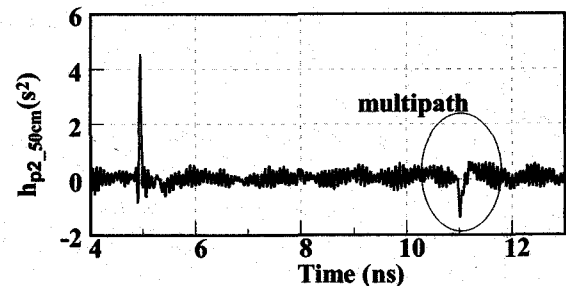


그림 5(b). 150cm 다중경로 경우 $h_{p2}(t)$

Fig. 5(b). Impulse radio channel for d=1.5 m.

다중 경로 환경의 경우, 전체 임펄스 응답은 LOS와 다중 경로에 의한 응답으로 나눌 수가 있다.

그림 5는 그림 3에서 구한 안테나의 임펄스 응답과 식 (4), (5), (6)을 이용하여 안테나의 특성을 제외한 채널의 임펄스 응답이다. 이론적으로 다중경로의 결과는 $h_{p2}(t)$ 에서 임펄스의 time delay로 설명이 가능하며 그 펄스의 위상은 금속판을 사용했기 때문에 뒤바뀌게 된다.

그림 4와 5에서 구한 임펄스 응답 특성으로 부터, 초광대역 안테나가 전체 채널에 미치는 영향을 시간영역에서 잘 관찰할 수 있다. 우선, 그림 4(a)로부터 0.5m에 금속판을 둔 경우는 LOS 경우의 응답 특성과 중첩이 나타남을 관찰할 수 있다. 이유는 그림 3에서 보인 것처럼 초광대역 안테나의 임펄스 응답에서 나타나는 떨림과 분산 현상으로 전체 채널의 응답이 길어지기 때문이다. 이러한 결과는 전파 채널 해석에 있어서 다중 경로 환경에서도 다중 경로 현상을 인식하지 못하여 정확히 채널을 해석할 수 없을 수 있음을 의미한다. 따라서 이러한 문제점을 극복하기 위하여, 식 (5)를 사용하여 초광대역 안테나 특성을 제외한 후 순수 채널에 의한 영향을 구할 수가 있다. 그림 5(a)는 초광대역 안테나의 특성이 제외된 응답 특성으로, 다중 경로에 의한 채널의 응답을 분명하게 구분할 수 있음을 보여준다. 그림 4(b)와 5(b)로부터는 LOS 응답과 다중 경로 환경이 분명하게 구분 됨을 보인다. 특히, LOS 응답에서는 안테나의 떨림과 분산에 의한 영향이 꼬리 부분에서 관찰된다.

다. 다중경로 임펄스 전파 채널의 시스템 응답

지금까지는 벡터 회로망 분석기를 사용하여 채널의 각 구성 요소에 대한 임펄스 응답을 구하였다. 여기서는, 실제 임펄스를 입력으로 했을 때, 시스템 응답에 대해 기술하고자 한다.

우선 그림 1로부터 입력 $x(t)$ 에 대한 출력 $y(t)$ 에 대한 입출력 관계는 아래와 같이 적을 수 있다.

$$y(t) = h_{Rx}(t) \otimes h_p(t) \otimes h_{Tx}(t) \otimes \frac{d}{dx}(x(t)) \quad (9)$$

$h_{Tx}(t)$ 는 그림 3에서 구한 안테나의 임펄스 응답이고, $h_p(t)$ 는 그림 5에서 구한 채널의 임펄스 응답이다. $x(t)$ 는 오실로스코프 측정에 사용한 것과 동일한 임펄스 이다. 식 (9)로 부터, 출력 $y(t)$ 는 $x(t)$, $h_{Tx}(t)$, $h_p(t)$, $h_{Rx}(t)$ 들의 컨볼루션으로 주어진다.

그림 6은 입력 임펄스 신호 $x(t)$ 의 모양을 나타낸다. 그림 7(a)와 (b)는 각각 0.5m, 1.5m 다중경로 환경에

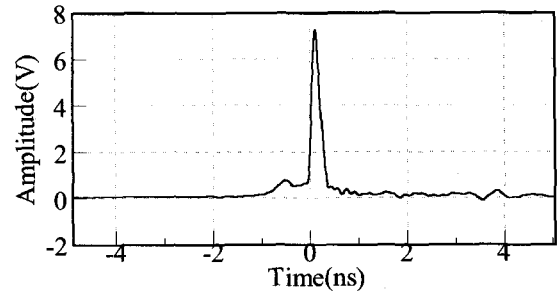


그림 6. 사용한 임펄스 모양
Fig. 6. Impulse shape.

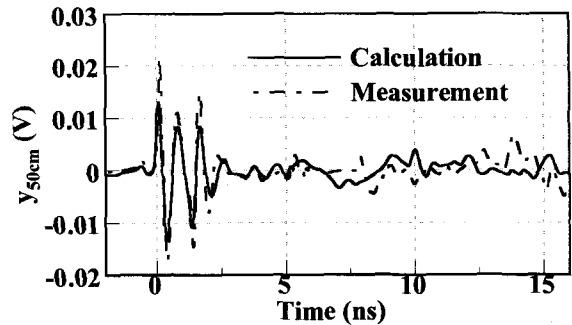


그림 7(a). 50cm 다중경로의 경우에 대한 $y(t)$ 비교
Fig. 7(a). Comparing calculated and measured result of $y(t)$ for $d=0.5$ m.

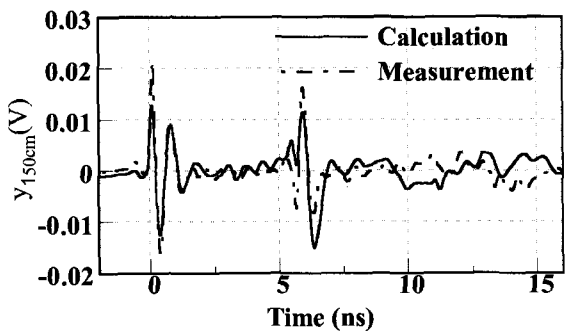


그림 7(b). 150cm 다중경로의 경우에 대한 $y(t)$ 비교
Fig. 7(b). Comparing calculated and measured result of $y(t)$ for $d=1.5$ m.

서 입력에 대한 출력 $y(t)$ 를 오실로스코프로 측정한 것과 앞서 구한 안테나의 임펄스 응답, 다중 경로 환경에 의한 시간영역 응답을 사용하여 계산한 결과를 보인다. 그림 7로 부터, 계산한 결과와 측정한 결과가 거의 일치함을 알 수 있다. 따라서, 구한 안테나의 임펄스 응답을 사용하여 임의의 임펄스 응답 계산이 가능할 뿐만 아니라, 임펄스의 전파 특성 또한 구할 수 있음을 알 수 있다.

III. 결 론

본 논문에서는 안테나의 임펄스 응답 특성이 임펄스 전파 채널에 미치는 영향을 기술하였다. 우선, 초광대역 안테나의 임펄스 응답을 구하는 방법을 제시하였고, 이를 이용하여 임펄스 채널만의 응답을 구하는 방법을 기술하였다. 이론적 증명을 위해 초광대역 코니컬 모노폴 안테나를 설계하였고, 시간 영역에서 안테나에 대한 임펄스 응답을 구하였다. 안테나는 시간영역 해석으로부터 떨림과 분산이 존재함을 관찰하였고, 이는 실제 임펄스 전파 채널의 응답 크기 및 속도와 직접적으로 영향이 있었다. 이 결과로부터, 임펄스 전파 채널 응답을 해석하기 위해서는 사용한 안테나의 영향이 필히 고려되어야 한다.

본 논문에서 제시한 시간 영역에서의 임펄스 전파 채널 해석 방법은 초광대역 임펄스를 사용하는 고해상도 레이더 및 센서 설계를 위한 전파 특성 측정에도 활용될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Characterization of ultra-wide bandwidth wireless indoor channels: A communication-theoretic view", *IEEE journal of Selected Areas in Communications*, Vol. 20, No. 9, Dec. 2002, pp. 1613-1627.
- [2] S. S. Ghassemzadeh, R. Jana, C. W. Rice, W. Turin, and V. Tarokh, "Measurement and modeling of an Ultra-wide bandwidth indoor channel", *IEEE Trans. Communications*, vol. 52, No. 10, Oct., 2004, pp. 1786-1796.
- [3] <ftp://ftp.802wirelessworld.com/15/04/15-04-0662-01-004a-channel-model-final-report-rl.pdf>.
- [4] W. Soergel, F. Pivit, and W. Wiesbeck, "Comparison of Frequency Domain and Time Domain Measurement Procedures for Ultra Wideband Antennas", *IEEE Electromagnetic Compatibility Newsletter*, summer 2004, pp. 31-35.
- [5] E. G. Farr and C. E. Baum, "Time domain characterization of antennas with TEM feeds", *Sensor and simulation Notes*, Note 426, Oct. 1998.
- [6] R. C. Robertson and M. A. Morgan, "Ultra-Wideband impulse receiving antenna design and evaluation", in *Ultra-Wideband Short-Pulse Electromagnetics 2*, L. Carin and L.B.Felson(eds.), Plenum Press, 1995, pp.179-186.
- [7] S. W. Marple Jr. "Computing the Discrete-Time 'Analytic' Signal Via FFT", *IEEE Trans. Signal*

Processing, vol. 47, No. 9, Sept. 1999, pp. 2600-2603.

- [8] W. Sögel, W. Wiesbeck, "Influence of the antennas on the Ultra-Wideband Transmission", *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, March 2005, pp. 196-305.
- [9] B. Scheers, M. Achery, V. Vorst, "Time domain simulation and characterisation of TEM horns using a normalised impulse response," *IEE Proc. Microw. Antennas Propag.* Vol. 147, No. 6, Dec. 2000, pp. 463-468.

저 자 소 개



박 영 진(정회원)

1997년 중앙대학교
전자공학과 학사 졸업
1999년 한국과학기술원
전기전자과 석사 졸업
2002년 University of Karlsruhe
전기전자과 박사 졸업

2002년 11월 ~ 현재 한국전기연구원 전기정보망
기술연구그룹 근무.

2004년 3월 ~ 현재 과학기술연합대학원대학교
겸임교원.

<주관심분야: Impulse radio propagation, UWB
image radar, short range automotive radar,
digital beam forming (DBF), power line
communications (PLC)>



송 종 화(정회원)

2004년 홍익대학교 전기전자공학
부공학과 학사 졸업.
2005년 ~ 현재 과학기술연합대학원
대학교 석사과정.

<주관심분야 : UWB antenna,
Impulse radio channel modeling,
digital beam forming (DBF)>



김 관 호(정회원)

1978년 숭전대학교
전자공학과 학사 졸업
1980년 연세대학교
전자공학과 석사 졸업.
1980년 ~ 1983년 한국전력공사.
1983년 ~ 현재 한국전기연구원
전기정보망 기술연구그룹 그룹장.

<주관심분야 : 전파통신, 전력선통신시스템, 무선
에너지 전송, UWB 레이더 및 센서>