

초광대역 안테나 특성을 고려한 임펄스 채널의 전파특성

\*송중화, \*\*박영진, \*기명오, \*\*김관호  
\*과학기술연합대학원대학교, \*\*한국전기연구원

Analysis of Impulse Radio Channel Property by Characterizaing UWB antenna

\*Jong-Hwa Song, \*\*Young-Jin Park, \*Moung-O Ki, and \*\*Kwan-Ho Kim  
\*University of Science and Technology (UST), \*\*Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)

**Abstract** - 본 논문은 주파수 영역과 시간 영역에서 초광대역 (Ultra Wideband : UWB) 안테나의 임펄스 응답 특성을 고려한 채널측정 연구에 대해 발표하고자 한다. 임펄스 전파 채널 측정을 위해 UWB conical monopole 안테나를 설계하였고, 설계한 안테나의 임펄스 응답을 도출하였다. 안테나의 특성이 임펄스 전파 채널측정에 주는 영향을 무반향 반사실에서 다중경로 환경과 무반사 환경을 구현하여 측정하였다. 측정을 통하여 안테나의 dispersive한 특성과 ringing이 임펄스 전파 채널에 영향을 미침을 확인했고, 이러한 결과를 바탕으로 정확한 임펄스 채널 측정을 위해 사용한 UWB 안테나의 특성을 고려해야 함을 확인하였다.

1. 서 론

시간영역에서 수 nano second (ns) 이하의 폭을 갖는 임펄스를 이용한 Ultra Wideband (UWB) 무선통신 기술은 매우 낮은 전력을 사용하여, 근거리에서 수백Mbps의 데이터 전송이 가능하고, 센티미터급의 고정밀 위치 추적이 가능하며, 최근 활발히 연구가 진행되고 있다. 초광대역 기술은 극초단의 임펄스를 사용하기 때문에 시스템 구현 및 해석상에 있어 협대역 경우와 많은 부분에서 다르다. 특히 임펄스 채널 측정은 광대역 신호 특성 때문에 다양한 방법으로 연구되어 왔다. 이러한 결과로 지금까지 임펄스 전파 채널 측정에 관한 몇몇 논문이 나왔지만 대부분의 경우 측정에서 사용한 초광대역 안테나의 영향을 고려하지 않았다.[1]-[3] 협대역의 경우는 주파수 영역에서 안테나의 특성이 거의 일정하다고 가정할 수 있기 때문에 안테나의 특성을 고려하지 않았지만 초광대역에서는 UWB안테나의 특성 측정이 먼저 선행되어야 정확한 채널측정이 이루어질 수 있다. 이는 UWB 안테나 임펄스 응답은 임펄스 전파채널의 경로손실이나 다중경로 페이딩에 영향을 주기 때문이다.

본 논문의 목적은 안테나의 임펄스 응답 특성이 임펄스 전파 채널측정에 영향을 미침을 조사하였고, 정확한 임펄스 채널 모델링을 위해 UWB 안테나 임펄스 응답특성이 채널 측정 이전에 고려되어야 함을 보이려 함이다. 증명을 위해 UWB conical monopole 안테나를 설계, 구현하였고, 무반향 반사실에서 구축한 무반사 환경과 다중경로 환경에서의 측정결과로 논지의 타당함을 보이겠다.

2. 본 론

2.1 이론

2.1.1 UWB 안테나의 임펄스 응답

임펄스 전파 채널은 그림 1과 같이 간단하게 모델링할 수 있다. 그림에서  $H_{PATH}(w)$ 는 채널의 전달함수이고,  $H_{Tx}(w)$ 와  $H_{Rx}(w)$ 는 각각 송신(Tx) 및 수신(Rx)

안테나의 전달함수이다.

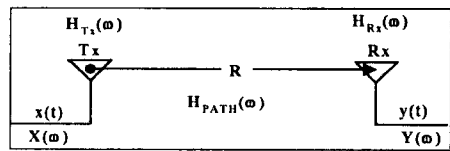


그림 1 임펄스 전파 채널.

송신 안테나와 수신 안테나의 전기적 특성이 같고, 다중 경로가 없다고 가정하면, 신호의 입력력 관계로부터,  $\frac{Y(w)}{X(w)} = jw \cdot [H_{Tx}(w)]^2 \cdot H_{PATH}(w)$  (1)

여기서 채널 전달 함수는 다중경로가 없으므로, 아래와 식과 같다.

$$H_{PATH}(w) = \frac{e^{-jwR/c}}{2\pi Rc} \quad (2)$$

단,  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

또한 식(1)에서 입력과 출력의 관계는 벡터 회로망 분석기를 이용하여 측정된  $S_{21}(w)$ 과 같다. 따라서 구하고자 하는 송수신기 안테나의 전달함수는 다음과 같이 쓸 수 있다.[4]-[6]

$$H_{Tx}(w) = \sqrt{\frac{S_{21}(w)2\pi Rc}{jwe^{-jwR/c}}} \quad (3)$$

따라서, 식(3)으로부터 사용하고 있는 안테나의 임펄스 응답,  $h_{Tx}(t)$ 는 다음과 같이  $H_{Tx}(w)$ 의 IFFT로 얻을 수 있다.

$$h_{Tx}(t) = \text{IFFT}(H_{Tx}(w)) \quad (4)$$

2.1.2 IFFT

시간영역의 신호를 주파수 영역으로 변환하면 양의 주파수와 음의 주파수 영역에 0을 중심으로 대칭으로 나타난다. 그러나 실제로 벡터회로망 분석기는 양의 주파수 영역의 자료만 측정한다. 측정된 양의 주파수 영역의 자료를 시간영역으로 변환하게 되면 실제로 있어야 할 음의 주파수 영역으로 인한 영향은 제외된 신호를 얻게 된다.

정확한 IFFT를 하기 위해서 우선 벡터회로망 분석기로부터 측정된 양의 주파수 영역의 자료를  $X(f)$ 라고 했을 때 식(5)와 같이 만든다.[7]

$$Z(f) = \begin{cases} 2X(f) & \text{for } f > 0 \\ X(f) & \text{for } f = 0 \\ 0 & \text{for } f < 0 \end{cases} \quad (5)$$

$Z(f)$ 는 실제 음의 주파수 영역과 양의 주파수 영역에 대칭이라는 점을 이용해서 양의 주파수 영역에 두배를 해줌으로써 음의 주파수 영역의 생략으로 인한 손실을 보상한다. 단,  $f = 0$ 인 지점은 대칭을 이용한 것이므로

두배를 하지 않는다.

양의 주파수 스펙트럼을 그대로 시간영역으로 변환하게 되면 복소값이 나오게 된다. 즉  $Z(f)$ 의 IFFT로 얻어진 신호를  $z(t)$ 라 하면,  $z(t) = z_r(t) + jz_i(t)$ 이며,  $z_r(t) = \text{Re}\{z(t)\}$ ,  $z_i(t) = \text{Im}\{z(t)\}$  이다. 이 중에 실제 신호는  $z_r(t)$ 이고  $z_i(t)$ 는 실제 신호의 힐버트 트랜스폼한 신호이다.[7]

$$\text{IFFT}\{X(f)\} = x(t) = \text{Re}\{Z(f)\} \quad (6)$$

### 2.1.3 다중경로 환경에서의 임펄스 전파 특성

그림 2는 그림 1과 달리 송수신 안테나 사이의 경로가 하나 이상인 경우이다. 그림에서처럼 임의의 다중경로를 만들기 위해서 중심으로부터 거리  $d$  떨어진 곳에 금속판을 두면 새로운 다중경로  $H_{PATH}$ 가 생성 될 것이다. 그림과 같은 임펄스 전파환경에서 벡터 회로망 분석기를 이용하여 측정한  $S_{21}^*(w)$ , 채널전달함수를  $H_{PATH}^*(w)$ 라 하면,

$$H_{PATH}^*(w) = \frac{S_{21}^*(w)}{jw[H_{Tx}(w)]^2} \quad (7)$$

여기서  $H_{Tx}(w)$ 는 식(3)에서 주어지므로, 다중경로가 있는 임펄스 전파 채널 환경에서의 전파 특성을 구할 수 있다.

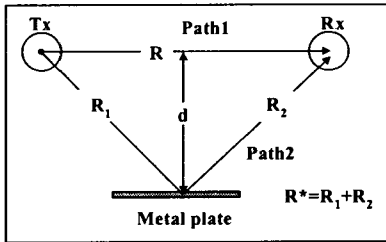


그림 2 Multipath 환경 채널 구성도.

## 2.2 임펄스 전파 특성 측정 셋업

### 2.2.1 UWB 안테나의 임펄스 응답

임펄스 전파 채널 측정을 위해서 UWB conical monopole 안테나를 설계, 제작하였다. Anasoft HFSS를 이용하여 시뮬레이션 하였으며, 실제 구현한 안테나 사진은 그림 3과 같다. 그림 4는 제작한 안테나의  $S_{11}$ 이며 측정은 Agilent사의 E8363B를 사용하였다.

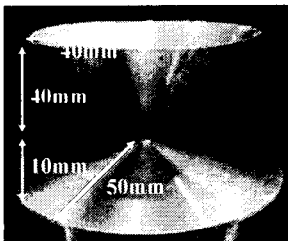


그림 3. UWB conical monopole 안테나

### 2.2.2 UWB 안테나의 임펄스 응답

무반향 반사실에서의 측정은 송수신 안테나 사이의 거리는 1.5m로 고정하였고, 지면으로 안테나 중심까지의 높이는 1.65m이다. 주파수 영역에서의 측정은 Agilent사의 E8363B를 사용하였고, 시간영역에서는 Lecroy의 오실로스코프 Wavemaster 8600A를 사용하였다.

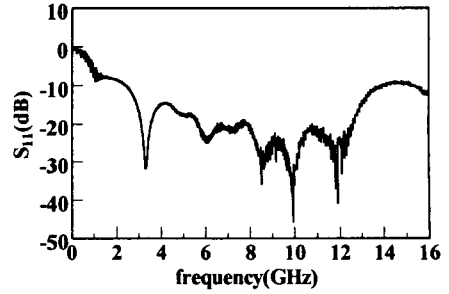


그림 4 UWB conical monopole 안테나  $S_{11}$

## 2.3 측정 및 해석

### 2.3.1 안테나의 임펄스 응답 $h_{Tx}(t)$

무반향 반사실에서 구한  $S_{21}(w)$ 을 식(2)와 (3)을 이용하여 구한 안테나의 임펄스 응답은 그림 5와 같다.

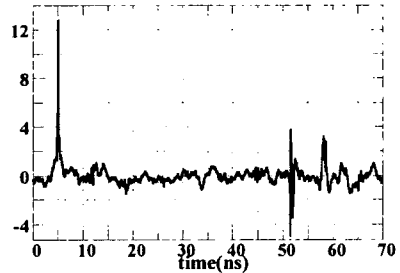


그림 5 안테나의 임펄스 응답  $h_{Tx}(t)$

채널 임펄스 응답에서 그 채널의 왜곡을 나타내는 값인 FWHM(full width at half maximum:  $W_{0.5}$ )를 그림 5와 같이 구한 안테나의 임펄스 응답에 적용시켜 보면 그 값은 205ps이다. FWHM은 식(8)와 같이 구한다.[8]

$$W_{0.5} = t_1 |h_{Tx}(t) = p/2 - t_2 |h_{Tx}(t) = p/2 \quad (8)$$

단,  $p = \max|h_{Tx}(t)|$

### 2.3.3 Multipath 채널의 구성

안테나의 특성이 임펄스 전파 채널측정에 어떤 영향을 주는 지 검증하기 위해서 무반사 채널에서 다중경로를 갖는 환경을 그림 2와 같이 구성하여 실험하였다. 금속판은 송수신 안테나의 line of sight에서 0.5m, 1.5m 떨어진 위치( $d=0.5m, 1.5m$ )했을 때 측정했다.

이론적으로 다중경로의 결과는  $h_{PATH}(t)$ 에서 임펄스의 time delay로 설명이 가능하며 그 펄스의 위상은 금속판을 사용했기 때문에 뒤바뀌게 된다. 그림 6(a), 그림 6(b)는 금속판의 위치에 따른 각각의  $h_{PATH}^*(t)$ 이다. 이는 벡터 회로망분석기로 구한  $S_{21}^*(w)$ 과 무반사 채널에서 구한  $H_{Tx}(w)$ 를 이용하여 구한  $H_{PATH}^*(w)$ 를 IFFT 하여 구한 값이다.

그림 7은 안테나의 특성을 포함한 채널의 임펄스 응답이다. 50cm 다중경로의 경우 13ns 지점의 지역 침투치는 다중경로의 영향에 의해 생기는 것으로 오관할 수 있다. 150cm 다중경로의 경우 13ns의 지점의 지역 침투치는 다중경로에 의한 것으로 볼 수 있지만, 50cm 다중경로의 8ns 지점의 다중경로의 모양에 비해 왜곡이 되었다. 이는 다중경로와 안테나의 특성이 복합되어 나타났기 때문이다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 안테나의 임펄스 응답 특성이 임펄스 전파 채널의 측정에 미치는 영향을 기술하였다. 우선, 무반사 채널에서 구한 UWB 안테나의 임펄스 응답을 시간 영역과 주파수 영역에서 구했으며, 예상대로 안테나의 ringing이나 dispersion이 채널의 임펄스 응답에 영향을 주는 것을 확인하였다. 결론적으로 정확한 채널 모델링을 위해서는 사용한 초광대역 안테나의 특성을 구하여 채널 응답에서 안테나에 의한 영향을 고려해야만 한다.

### [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] <http://ftp.802wirelessworld.com/15/04/15-04-0662-01-004a-c/hannel-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 and Short-Pulse Electromagnetics 2*, L. Carin and L.B.Felson (eds.), Plenum Press, 1995, pp.179-1
- [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] J.G.Maloney, B.L.Shirley, and G.S.Smith, "The reception of short pulses by antennas: FDTD results and reciprocity", in *Ultra-Wideband Short-Pulse Electromagnetics 2*, L.Carín and L.B.Felson (eds.), Plenum Press, 1995, pp.187-196

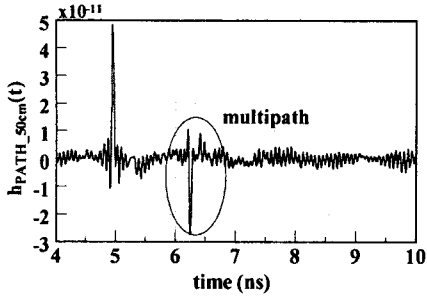


그림 6(a) 50cm 다중경로 경우  $h_{PATH}^*(t)$ .

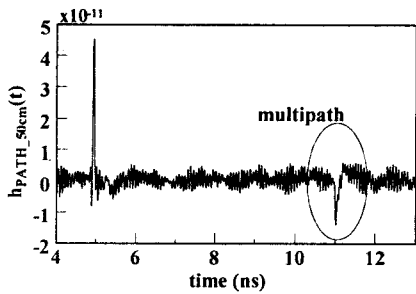


그림 6(b) 150cm 다중경로 경우  $h_{PATH}^*(t)$ .

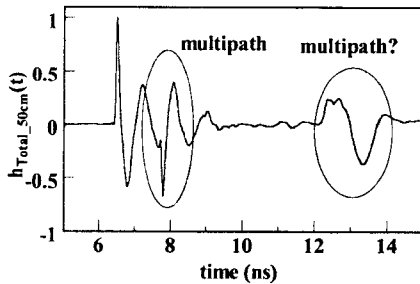


그림 7(a) 50cm 다중경로 경우  $h_p(t)$

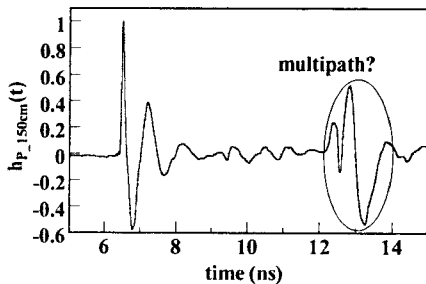


그림 7(b) 150cm 다중경로 경우  $h_p(t)$

이와 같이 안테나의 특성을 고려하여 안테나의 특성을 제외한 채널만의 순수한 임펄스 응답을 얻어야 임펄스 채널의 채널을 모델링할 수 있다.

또, 안테나의 특성을 제외한 채널만의 모델링이 된다면, 다른 안테나를 사용하는 경우 그 안테나의 임펄스 응답을 안다면 채널 측정의 결과를 예상할 수 있다.