

광전계 센서를 이용한 구형 Loop Antenna의 근접전계 특성 Characteristic for the Near Field of Rectangle Loop Antenna using Optical Electric-Field Sensor

이 주 현 · 도쿠다 마사미츄* · 하 덕 호

Ju-Hyun Lee · Masamitsu Tokuda* · Deock-Ho Ha

요 약

본 논문에서는 전파암실(8.5 m×7 m×7 m)에서 광전계센서를 이용한 Loop Antenna의 근접전계 분포특성을 파악하기 위해 시간 및 주파수 영역에 대하여 측정한 후 시뮬레이션 결과와 비교 분석하였다. 시뮬레이션은 MoM와 FDTD를 이용하여 각각 주파수 및 시간영역에 대하여 시뮬레이션 하였다. 그 결과 측정 과 시뮬레이션 이 상당히 일치하였으며, 측정에 이용한 광전계 센서의 유효성을 확인하였다. 또한, 주파수 영역에 있어서 Loop Antenna의 수직 엘리먼트 근접에 광전계 센서를 각각 수직 과 수평편파로 한 경우 약 15 dB 정도의 차이를 보였고 Loop Antenna의 수평 엘리먼트 보다 높은 곳에서는 신호레벨의 별다른 차이가 없었다. 그리고, 시간영역 에 있어서는 Loop Antenna의 수평 엘리먼트 보다 높은 곳에서 광전계센서를 수직편파로 한 경우의 수신펄스 모양은 부(-)의 방향으로 됨을 알 수 있었다.

Abstract

In this paper, in order to investigate the near field distribution characteristic of the Loop Antenna we simulated and measured the near field of a Loop Antenna using optical electric-field sensor in a large Chamber(8.5 m×7 m×7 m). The simulation methods were used MoM for frequency domain and FDTD for time domain. From the analysis results, it can be seen that the simulation and measurement results are very aggregated, and the optical electric-field sensor is a certificate of validity. In frequency domain, in case of the optical sensor with vertical polarization is located above the near vertical line of the Loop Antenna the signal strength level is more 15 dB than with horizontal polarization. But in case of the optical sensor located above horizontal line of the Loop Antenna, signal strength level is not different. And, in the time domain, although input signal is positive, in the case of the optical sensor with vertical polarization is located above horizontal line of the Loop Antenna, it can be seen that the received pulse shape is negative.

Key words : EMC/EMI, Loop Antenna, Optical Electric-Field Sensor, FDTD, MoM

I. 서 론

최근 디지털기술의 진보와 함께, 천동번개·정전
기방전·전동공구류 등에 의한 각종 전자펄스에 의

한 전자방해가 문제시 되어오고 있다. 반도체 소자
의 고속화, 저전력화와 더불어 전자소자들이 방해
전자펄스에 대한 내력이 저하하고 있고, 이런 종류
의 전자장해 문제는 점점 더 중요시 되고 있다^{[1]~[3]}.

「본 연구는 일본구공업대학 전기전자공학부 대학원 교환연구생 동안(00.3~01.2)의 연구 결과임.」

부경대학교 정보통신공학과(Dept. of Telecomm. Eng., Pukyong National University)

*일본구공업대학교 전기전자공학부(Dept. of Electronic Eng. Faculty of Engineering, Kyushu Institute of Technology)

· 논문 번호 : 20020718-083

· 수정완료일자 : 2002년 12월 23일

현재상태의 주파수영역용의 측정기기는 기본적으로는 연속파형을 대상으로 하여 설계되고 있기 때문에 정전기 펄스 같은 단발의 전자펄스 현상에 대응할 수 있는 성능을 갖추고 있지 않다. 게다가, 복수회에 걸쳐 방전을 발생시켜 전자펄스의 현상을 정확히 검출하기 위해서는 시간영역에서의 측정과 분석이 요구된다^{[4]-[6]}.

Loop Antenna는 무선통신 및 EMC/EMI 측정에 주로 사용되고 다양한 형태의 Loop Antenna에 관해서도 많은 관심분야이다^{[7],[8]}. 본 논문에서는 전파압실에 구형 Loop Antenna를 설치하고, 광전계센서를 이용하여 주파수영역 및 시간영역에 대한 근접 전계분포특성을 측정 및 시뮬레이션 하였다. 주파수영역특성은 Loop Antenna 근접 각부에 대한 특성의 변화와 안테나로부터의 거리를 변화시킬 때의 특성 변화에 대해서 검토를 하였다. 그리고, 시간영역특성은 Loop Antenna에 10 ns, 50 ns의 펄스 파형을 인가하고, 안테나의 급전점 부근 전계 펄스파형을 전계센서의 측정 Points를 변화시켜가면서 측정하였다. 또, 본 논문에서는 이러한 측정을 수치계산에 의해 시뮬레이션하고 측정결과와의 비교 검토를 행함으로써 전계센서의 타당성을 확인했다.

II. FDTD와 MoM 법의 이론적 해석

FDTD 방법에서 상세한 안테나 모델화를 하게 되면 거의 실제 값과 같은 결과를 얻을 수 있지만 메모리와 계산시간이 커지는 단점을 갖는다. 본 논문에서는 Loop Antenna를 모델화 하였고 그 개략도를 그림 1에 보이고 있다.

안테나의 도체부 모델화에 있어 일반적인 안테나는 완전도체로 구성하고 있는 것으로 한다. 그림 2

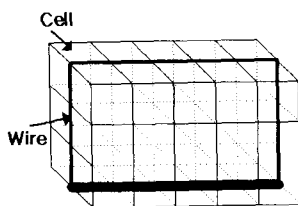


그림 1. Loop Antenna의 구성
Fig. 1. Model of the Loop Antenna.

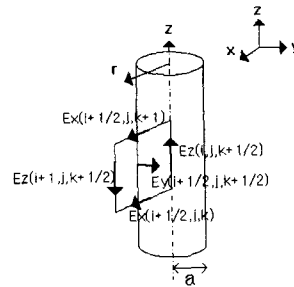


그림 2. 안테나 도체부의 전자계
Fig. 2. Electromagnetic of antenna element.

는 안테나 도체부의 전자계이다.

도체의 반경 a 가 $\Delta x/2$ 보다 작고, 전자계는 $1/r$ 에 비례하여 변화하는 것으로 가정하면, 도체에서 가장 가까운 자계의 y 성분은 식 (1)과 같다.

$$H_y^{n+1/2}\left(i+\frac{1}{2}, j, k+\frac{1}{2}\right) = H_y^{n-1/2}\left(i+\frac{1}{2}, j, k+\frac{1}{2}\right) + \frac{\Delta t}{\mu} \left[\frac{E_z^{n+1/2}(i+\frac{1}{2}, j, k) - E_z^{n+1/2}(i+\frac{1}{2}, j, k+1)}{\Delta z} + \frac{2E_z^n(i+1, j, k+\frac{1}{2})}{\ln\left(\frac{\Delta x}{a}\right)\Delta x} \right] \quad (1)$$

또한, 안테나 해석에 있어서 상당히 중요한 급전 방법은 여러 종류가 있다. 본 논문에서는 Delta Gap 급전법을 이용하였다.

Delta Gap 급전법은 그림 3에 보이는 것처럼 단위 Cell로 나타낸 급전 Gap에 전압을 급전하는 방법이다. 즉, 급전 Gap에 인가된 전압을 V 라고 하면, 안테나 급전부에 대한 전계의 z 성분을 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$E_z^n\left(i, j, k+\frac{1}{2}\right) = -\frac{V}{\Delta} \quad (2)$$

여기서, $\Delta x = \Delta y = \Delta z = \Delta$ 이다. 급전부의 Cell 계산에서 안테나 반경을 a 로 하면 식 (1)의 전

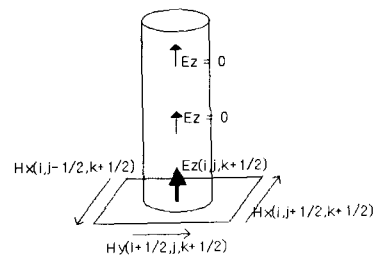


그림 3. 급전모델
Fig. 3. Model of Probe feeding.

계 $E_z(i, j, k+1/2)$ 를 이용하여 자계의 y 성분은 식 (3)으로 표현된다.

$$H_y^{n+\frac{1}{2}}\left(i+\frac{1}{2}, j, k+\frac{1}{2}\right) = H_y^{n-\frac{1}{2}}\left(i+\frac{1}{2}, j, k+\frac{1}{2}\right) + \frac{\Delta t}{\mu_0 \Delta} \left[E_z^{n+1}\left(i+\frac{1}{2}, j, k\right) - E_z^n\left(i+\frac{1}{2}, j, k+1\right) + \frac{2}{\ln\left(\frac{\Delta}{a}\right)} \left(E_z^{n+1}\left(i+\frac{1}{2}, j, k+\frac{1}{2}\right) + \frac{V_z^n}{\Delta} \right) \right] \quad (3)$$

MoM 방법은 해석영역 내의 구조체를 다수의 Segment로 안테나 Wire Element를 모델화 하고, 임의의 점에 급전점을 설정한 후 각 Segment에서 발생하는 유도전류를 관측점에서 구하는 방법이다.

본 논문에서는 이 MoM를 이용하여 주파수영역에서 Loop Antenna 해석을 하였다. 우선, 제1의 step 으로부터 미지전류 I 를 식 (4)로 나타낼 수 있다.

$$I = \sum_n I_n J_n \quad (4)$$

미지함수 I_n 은 $[I_n] = [Z_{mn}]^{-1} [V_m]$ 로 구해지고, $[Z_{mn}], [V_m]$ 은 각각 확장된 임피던스와 전압행렬이다. 또한, 본 논문에 이용된 전개함수는 식 (5)와 같다.

$$J_n = \begin{cases} \frac{\sin\{k(z' - |\xi - \xi_n|)\}}{\sin(kz')} & z' \in \Delta z_n \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (5)$$

III. 실험방법

3-1 주파수 및 시간영역에 대한 측정구성

주파수영역의 측정은 그림 4와 같이 전파흡수체가 벽면과 천장에 배치된 전파암실(8.5 m × 7 m × 7 m)에서 행하였고, 측정장비는 Network Analyzer를 이용하였다.

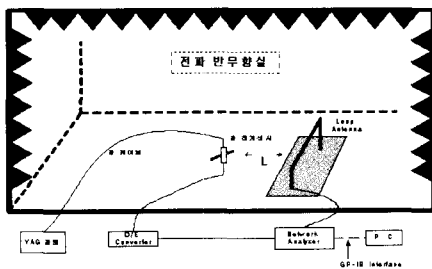


그림 4. 주파수 영역에 대한 측정구성
Fig. 4. Measurement configuration for frequency domain.

송신안테나는 횡 1 m, 종 0.5 m의 Loop Antenna를 그림 4와 같이 설치하였고, 수신안테나로는 광전계센서를 이용하였다. 그리고, 송신 안테나와 수신 안테나와의 거리 L 을 변화시켜 측정을 행하였다. 또한, 송신안테나에는 Network Analyzer로부터 0 dBm의 신호를 30 MHz~1,000 MHz 까지 주파수소인하여 인가하였다.

시간영역에 대한 전자펄스 측정에 있어서, 측정 장소와 송수신 안테나는 주파수영역에 대한 측정과 동일하고, 측정기기로써는 Digital Oscilloscope를 이용하였으며, 측정계는 그림 5에 보이고 있다. Loop Antenna에는 펄스 발생기를 이용하여 10 ns, 50 ns의 펄스신호를 각각 인가한 후, 공간에 방사시킨 전자 펄스를 광전계센서로 수신하였다.

3-2 Loop Antenna 근접의 전자계 분포 측정계

그림 6은 Loop Antenna의 주파수 및 시간영역에 대한 근접 전자계 특성을 측정하고 시뮬레이션을 수행한 각 관측점에 대한 정면도와 측면도이다. Loop Antenna와 광전계센서와의 이격거리 L 은 그림 6의 측면도에서 알 수 있는 것처럼 15 cm, 35 cm, 55 cm, 100 cm로 변화시켜가면서 각각 9 Point에 대하여 측정 및 시뮬레이션을 행하였다.

시뮬레이션은 주파수 영역에 있어서는 MoM를 이용하였고, 시간영역에 있어서는 FDTD법을 이용하였다.

3-3 광전계센서의 구성

그림 7은 본 측정에 사용하기 위해 구입된 광전

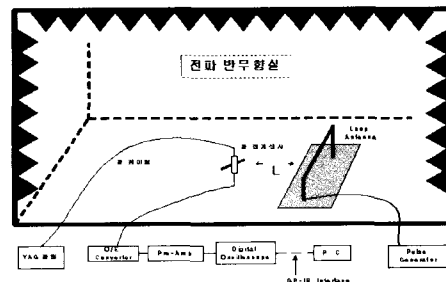


그림 5. 시간영역에 대한 측정구성
Fig. 5. Measurement configuration for time domain.

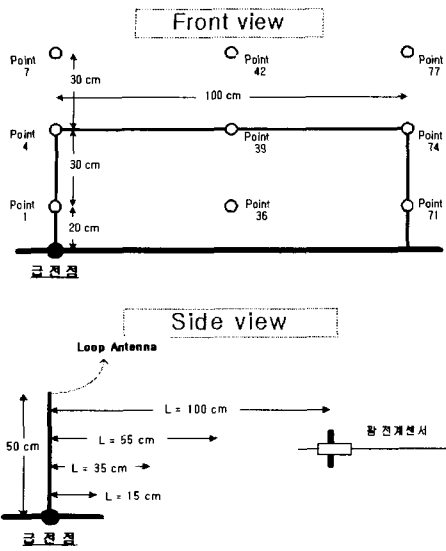


그림 6. 광전계센서를 이용한 Loop Antenna 근접 측정계의 정면도와 측면도
 Fig. 6. The front and side view of measurement using optical sensor.

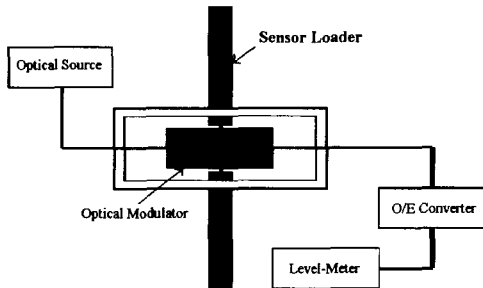
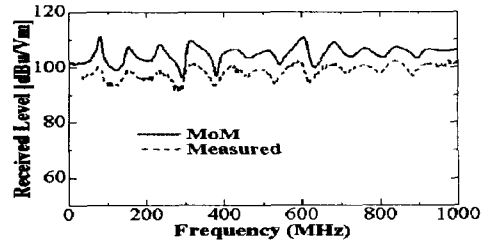


그림 7. 광전계센서 구성도
 Fig. 7. Optical electric-field Sensor.

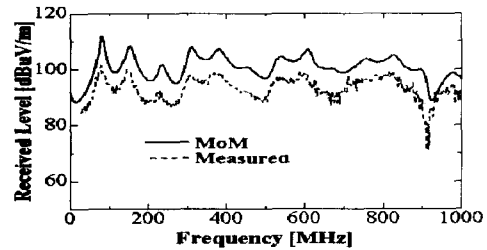
계센서의 구성도이다. 그림 7에서와 같이 광변조기에는 일직선상으로 두개의 전계 센서로드가 연결되어 있다. 자유공간에 방사된 전계는 이 Sensor loader로 수신되며 전자유도에 의해 광변조기에 입력된다. 광변조기는 입력된 전압을 이용하여 무변조의 광신호를 변조하게 된다. 변조된 광신호는 광전 변환기(O/E)로 보내어져 전기신호로 재 변환된다. 이 전기신호를 레벨미터로 측정하였다.

IV. 측정 및 시뮬레이션 결과

4-1 Loop Antenna의 주파수 특성결과

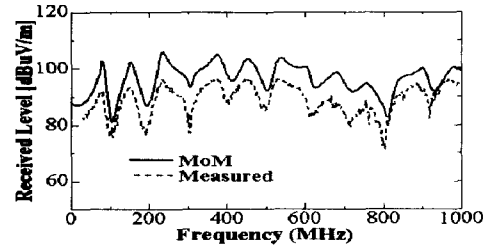


(a) 측정 Point 1(L=15 cm)

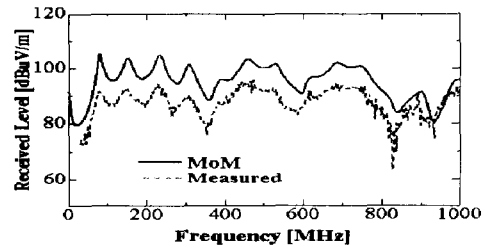


(b) 측정 Point 77(L=15 cm)

그림 8. 광전계센서가 수직편파인 경우
 Fig. 8. Optical-Electronic sensor with vertical polarization(L=15 cm).



(a) 측정 Point 1(L=15 cm)



(b) 측정 Point 77(L=15 cm)

그림 9. 광전계센서가 수평편파인 경우
 Fig. 9. Optical-Electronic sensor with horizontal polarization(L=15 cm).

그림 8과 그림 9는 전계센서의 위치가 Loop Antenna로부터 거리 L 이 15 cm 떨어진 곳에서 그림 3에 보인 관측점들에서 측정된 주파수 특성 결과이다. 여기서, 그림 8(a), (b)는 전계센서를 수직편파로

하고, 그림 9(a), (b)는 전계센서를 수평편파로 한 경우에 대해 측정 Point 1과 77 지점에서 측정된 주파수 특성을 나타낸다. 그림 8과 그림 9에서 알 수 있듯이 측정상의 에러로 평균 약 5 dBuV/m 정도 발생하고 있지만 측정치와 시뮬레이션 값이 상당히 일치하고 있는 것을 알 수 있다. 또한, 전계센서가 Loop Antenna로부터 15 cm 이상의 지점 즉, $L=35$ cm, 55 cm, 100 cm 경우의 모든 관측점에서도 측정과 시뮬레이션 결과 모두가 일치함을 알 수 있었다.

그림 10은 각 관측점에 대하여 수직편파와 수평편파에 대한 주파수 특성을 비교하고 있다. 그림 10(a)는 측정 Point(1)에서 측정한 결과이고, 그림 10(b)는 측정 Point (7)에서의 측정결과이다.

그림 10(a)에서 보여주는 것처럼 측정 Point (1)에서는 광전계센서를 수직편파로 하여 수신한 경우의 전계레벨이 센서를 수평편파로 하여 수신한 경우보다 약 15 dB 정도 높게됨을 알 수 있다. 또한, 그림 10(b)에 보이고 있는 Point (7)에서의 경우는 광전계센서를 수직과 수평편파로 한 경우들에 있어서 전계 레벨의 차가 거의 없음을 알 수 있다.

이는 관측점 Point (1)은 Loop Antenna의 수직 엘레먼트 방향과 전계센서의 수직 엘레먼트가 동일방향으로 되어 동일편파 유지가 상당히 큰 지점이

기 때문이다.

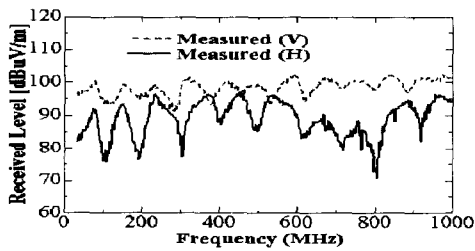
4-2 거리 L 을 변환시킨 경우의 측정결과

그림 11은 관측점 Point (1)에서 Loop antenna와 수신전계센서와의 이격 거리 L 을 변화시키면서 전계특성을 측정한 결과이다. 그림 11(a)는 전계센서를 수직편파로 한 경우이며, 그림 11(b)의 경우는 전계센서를 수평편파로 한 경우에 대한 결과이다.

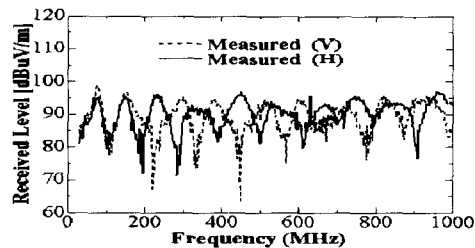
그림 11(a)에서 알 수 있듯이 거리 L 이 변하더라도 파형의 형태는 변하지 않고, 거리 L 이 멀어지면 전계 레벨만 낮게 됨을 알 수 있다. 전계센서를 수평편파로 한 그림 11(b)의 경우는 600 MHz 이하의 주파수에 있어서 거리 L 이 길어짐에 따라서 수신레벨이 낮아지지만 600~800 MHz 부근에서는 거리 L 이 변하더라도 전계레벨에는 크게 차이가 없음을 알 수 있다.

4-3 각 측정 Point들에서의 측정결과($L=15$ cm)

그림 12(a)와 (b)는 수직 전계센서를 Loop Antenna로부터 15 cm 떨어진 지점에서 대하여 측정한 결과이다. 그림 12(a)의 경우는 그림 6에서 보여준 관측 Point 1, 36, 71에서 측정한 결과이고, 그림 12(b) 경우는 관측 Point 4, 39, 74에서 측정한 결과를 각

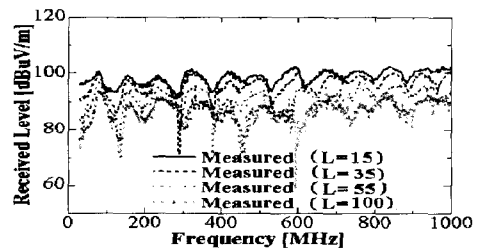


(a) 측정 Point 1($L=15$ cm)

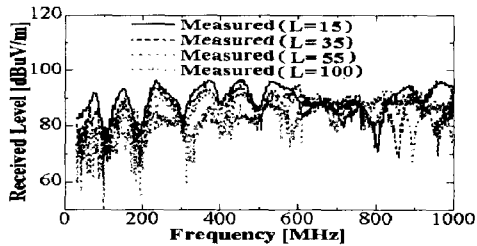


(b) 측정 Point 7($L=15$ cm)

그림 10. 수직편파와 수평편파의 비교
Fig. 10. Compare vertical to horizontal polarization.

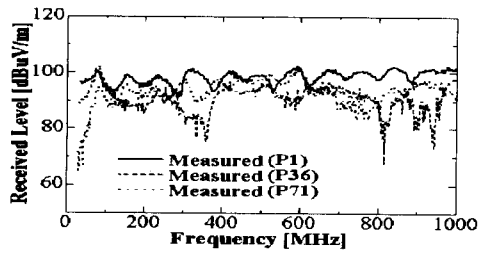


(a) 수직편파(Point 1)

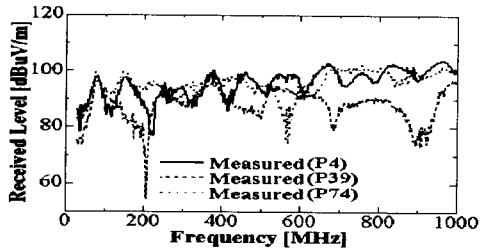


(b) 수평편파(Point 1)

그림 11. 거리 L 에 대한 측정결과
Fig. 11. Measurement result about L .



(a) 측정 Point 1, 36, 71(L=15 cm)



(b) 측정 Point 4, 39, 74(L=15 cm)

그림 12. Loop Antenna의 각 Point의 측정 결과
Fig. 12. Measurement result at each point of Loop Antenna.

각 종합적으로 비교하고 있다.

그림 12(a)에서 알 수 있듯이 Loop Antenna의 한 가운데 부분(Point 36)에서는 Loop Antenna의 양끝의 엘리먼트가 있는 Point 1과 71의 경우보다 페이딩 피크간의 폭이 넓게 됨을 알 수 있다. 또한, 그림 12(b)의 경우에서도 마찬가지로 측정 Point 4와 74의 경우보다 안테나의 중앙지점인 측정 Point 39에서 파형의 피크치 간의 간격이 넓게 됨을 알 수 있다. 이와 같이 Loop Antenna의 가운데(Point 36, 39)에서는 null-to-null의 대역이 넓게 되는 것을 알 수 있다.

V. Loop Antenna의 펄스응답특성

5-1 측정 및 시뮬레이션에 사용된 Input Pulses

그림 5에서 알 수 있듯이 펄스 발생기로부터 Loop Antenna에 그림 13과 같은 두 펄스 신호를 각각 인가하고 광전계센서로 수신펄스 신호의 파형을 오실로스코프로 측정하였다. 송신 안테나는 주파수 특성 측정의 경우와 동일하고, 광전계 센서를 그림 6에 보이는 것과 같이 거리 $L=15$ cm로 하여 수신하였다. 그림 13에 보이는 펄스 신호는 2 MHz, 입력 전압 7.5 V, 펄스폭 10 ns, 50 ns인 두 펄스신호이다.

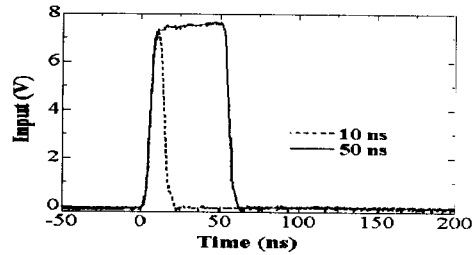
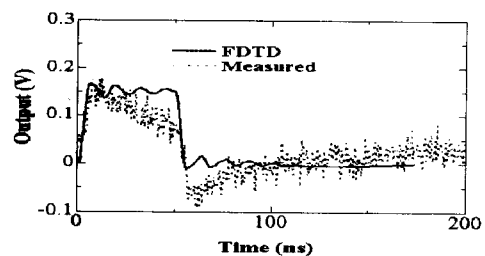


그림 13. 입력펄스 파형
Fig. 13. Input pulse shape.

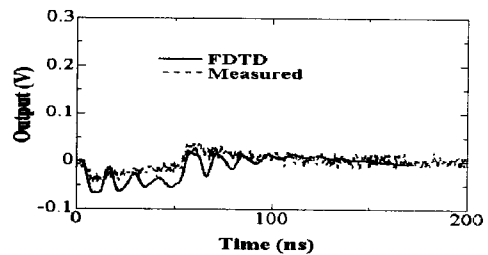
5-2 Input Pulse 50ns의 전계 펄스특성결과

그림 14와 15는 그림 10에 보인 50 ns의 Input Pulse를 이용하여 Loop Antenna의 전계 펄스특성에 대하여 측정과 시뮬레이션 결과를 보이고 있다. 그림 14의 경우는 측정 Point (1)과 Point (7)의 지점에서 수신전계센서를 수직편파로 했을 때의 결과이고, 그림 15는 Point (1)과 Point (7)의 지점에서 수신전계센서를 수평편파로 했을 때의 측정결과이다.

그림 14에서 알 수 있듯이 전계센서를 수직편파로 하여 수신한 경우를 보면 Loop Antenna의 수평 엘리먼트 높이를 경계로 그 이하에 있는 관측점(Point 1)에서는 입력파형과 같은 정의 펄스를 수신하고, 그에 반대로 Loop Antenna의 수평 엘리먼트

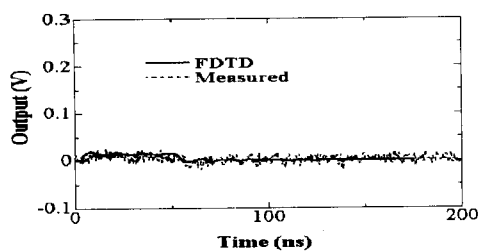


(a) Point 1(50 ns)

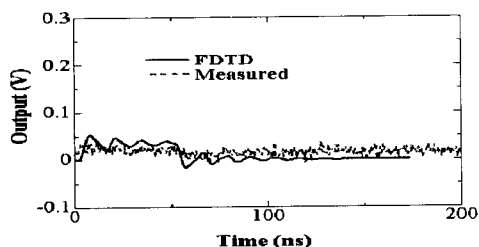


(b) Point 7(50 ns)

그림 14. 전계센서가 수직편파인 경우
Fig. 14. The case of vertical polarization.



(a) Point 1(50 ns)

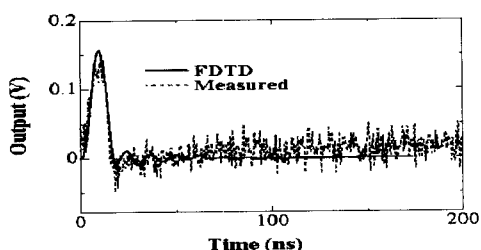


(b) Point 7(50 ns)

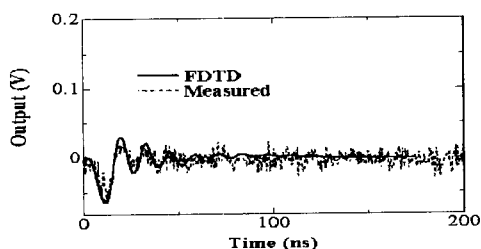
그림 15. 전계센서가 수평편파인 경우
Fig. 15. The case of horizontal polarization.

위쪽 Point (7)에서는 부의 펄스를 수신하고 있다. 그러나, 그림 15과 같이 수신전계센서를 수평편파로 한 경우를 보면 부의 펄스는 관측되지 않음을 알 수 있었다.

5-3 Input Pulse 10 ns의 전계 펄스특성결과

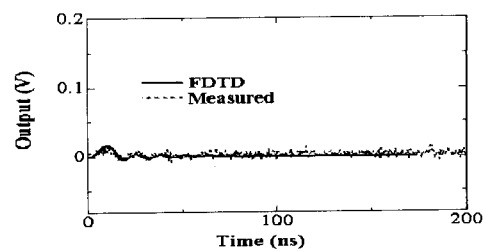


(a) Point 1

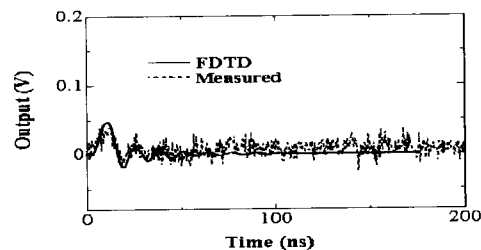


(b) Point 7

그림 16. 전계센서가 수직편파인 경우(10 ns)
Fig. 16. In the case of vertical polarization sensor (10 ns).



(a) Point 1



(b) Point 7

그림 17. 전계센서가 수평편파인 경우(10 ns)
Fig. 17. In the case of horizontal polarization sensor(10 ns).

그림 16과 17은 그림 13에서 10 ns의 입력펄스를 이용하여 수신전계센서를 수직 및 수평으로 한 경우에 대한 측정 및 Simulation 결과이다. 그림 16과 그림 17로 알 수 있듯이 측정치와 Simulation 결과가 상당히 잘 일치하고 있고, Loop Antenna에 입력 펄스 50 ns를 인가한 경우와 같이, 수신 전계센서를 수직편파로 한 경우는 안테나의 수평 엘리먼트의 아래의 관측점에서는 정의 펄스가 되고, 위쪽에서는 부의 펄스가 됨을 알 수 있었다.

VI. 결 론

본 연구에서는 광전계센서를 이용한 구형 Loop Antenna의 근접전계분포에 대하여 주파수 영역과 시간영역 양면으로 검토하였다. 그 결과 아래와 같은 내용을 확인할 수 있었다.

주파수 영역측정은 30 MHz로부터 1 GHz에 있어서 행하고, Loop Antenna 근접전계를 측정했다. 그 결과 MoM를 이용한 시뮬레이션 결과와 레벨적으로 5 dBuV/m의 차이가 보였지만, 양자는 상당히 일치하였으며 이 측정에 사용된 광전계센서의 유효성에 대하여 확인하였다.

또한, Point (1)과 Point (7)에서의 수신광전계센서

를 수직과 수평편파로 측정 한 결과 Point (1)에서는 약 15 dB의 차이가 있었고, Point (7)에서는 거의 같은 레벨이었다. 송신안테나와 수신광전계센서의 거리 L 에 대한 주파수 특성의 변화를 조사한 결과, 전계센서의 수평편파에 있어서 600~800 MHz 부근에서는 거리 L 의 변화에 관계없이 전계레벨 차이가 별로 없었음을 알 수 있었다.

한편, 시간영역의 측정에서는 Loop Antenna에 10 ns, 50 ns의 펄스 파형을 인가하여 안테나 근접에 대한 그 펄스 파형을 관측하였다. 그 결과 수신전계센서를 수직편파로 한 경우에는 Antenna의 수평 엘리먼트보다 낮은 관측점에서는 입력펄스와 같은 극성의 파형을 수신한 것과 반대로, 안테나의 수평 엘리먼트보다 위쪽의 관측점에서는 부의 펄스 파형을 수신하였다. 또한, FDTD법을 이용한 시뮬레이션 결과에서도 같은 결과임을 확인하였다. 이러한 시간영역측정에서 광전계센서를 이용하여 Loop Antenna 근접에 있어서 펄스의 전파 모양을 측정과 시뮬레이션 양면으로 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] 김기채, “생활 주변전기 전자기기의 EMI/EMC 문제”, 대한전자공학회지, 28(2), pp. 23-30, 2001년 2월.
 [2] 이동일, “超高壓 電力設備의 電氣環境障害와 對案技術 開發”, 한국전자과학회지 전자파기술, 12(2), pp. 105-116, 2001년 4월.

[3] K. Murakawa, M. Tokuda, "Emission leakage points finding technique for telecommunication equipment", *The transactions of the institute of electronics, Information and communication engineers*, vol. J79-B-II, no. 9, pp. 608-615, Sept. 1996.
 [4] E. Kimura, M. Ooki and M. Tokuda, "Induction characteristic of an equipment with the grounding wire using wire-grid approximation", *1999 IEEE EMC Symposium*, pp. 411-413, August 2-4, 1999.
 [5] E. Kimira, S. Kukita and M. Tokuda, "Measurement and calculation in the near field of dipole antenna using optical electric-field sensor", *1999 International Symposium on EMC*, pp. 67-70, May 1999.
 [6] 宇野 亨, "FDTD 法에 의한 電磁界 및 안테나 解析", 코로나 社.
 [7] E. Millen, "A Comparison of Loop Antennas", *1990 IEEE International Symposium on EMC*, pp. 451-455, 21-23 Aug. 1990.
 [8] M. Cabedo-Fabres, A. Valero-Nogueira and M. Ferando-Bataller, "Systematic Study of Elliptical Loop Antennas Using Characteristic Modes", *Antenna and Propagation Society International Symposium, IEEE*, vol. 1, pp. 156-159, 2002.

이 주 현



1996년 2월: 경일대학교 전자공학과 (공학사)
 1999년 2월: 부경대학교 정보통신공학과 (공학석사)
 1996년 8월~1997년 8월: 한국공업고등학교 교사
 2000년 3월~2001년 2월: 일본구주공대전기전자공학부 교환연구생
 1999년 3월~현재: 부경대학교 정보통신공학과 박사과정
 [주 관심분야] 안테나 설계 제작, 다이버시티 시스템, 전파 전파특성 해석 등

德田 正滿



昭 42年: 日本 北大·工·電子工卒
 昭 44年: 日本 北大·工 大學院修士課程了
 平 6年 4月~平13年 3月: 日本九州工大 教授
 平 13年 4月~ 現在: 東京 무사시마大學 教授
 [주 관심분야] EMC/EMI, 광케이블전송특성측정 등

하 덕 호



1979년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학사)

1984년 3월: 일본 Kyoto대학 (공학 석사)

1987년 3월: 일본 Kyoto대학 (공학 박사)

1978년 11월~1981년 1월: (주)금성사 중앙연구소 연구원

1990년 8월~1991년 8월: 캘리포니아 대학 (U.C., Davis) 방문 연구교수

2000년 2월~2001년 2월: 미국콜로라도주립대학 연구교수

1987년 9월~현재: 부경대학 정보통신공학과 정교수
[주 관심분야] 실내외 전파특성 모델링, 다이버시티 시스템, 디지털 이동통신방식, 채널코딩 등