

論文99-36T-3-13

# 모멘트 법을 이용한 수분센서용 개 루우프 안테나의 해석

## (Analysis of Open-loop Antenna for Moisture Sensor Using the Moment Methods)

鄭周洙 \*

(Joo Soo Jeong)

## 요 약

본 논문에서는 수분센서용으로 적합한 구조의 안테나로 소형의 개 루우프 안테나를 모델로 제시하고, 그 동작특성을 모멘트 법을 이용하여 수치해석 하였다.

수치해석의 결과, 동작 주파수 300MHz ~ 500MHz의 대역에서 안테나의 파라미터 값을 변화시킴으로써 입력 임피던스는  $50\Omega$ 로 정합시킬 수 있으며, 이득은 약 2.5dBd 정도로 나타났다. 또한, 이 안테나는 동작 주파수에서 협대역 공진특성을 보이고, 안테나의 중심 축 상으로 균일분포의 복사패턴을 보였다.

따라서 본 논문에서 제시된 안테나 모델은 수분센서용 안테나로서 적합한 구조와 동작특성을 갖는다.

## Abstract

This paper proposed a small type open-loop antenna model for the moisture sensor, and its operating characteristics were analyzed numerically using the moment methods.

The numerical analysis results through the moment methods showed that this antenna was able to match the input impedance to  $50\Omega$  by changing parameters of the antenna in the frequency range from 300MHz to 500MHz. The gain of antenna was obtained about 2.5dBd. This antenna proposed in this paper showed not only the radiation pattern characteristics of the uniform distribution toward the axial direction above the antenna, but also the narrowband resonant characteristics.

Thus we can propose that the antenna be more suitable for the moisture sensor.

## I. 서 론

유전물질 내에 포함되어 있는 수분(水分)의 양을 측정하기 위한 수분센서 센서용 안테나는 측정재료와의 접촉면에 대하여 수직이 되는 방향으로 균일 전파복사 특성을 가져야 하며, 측정재료(유전물질)내의 함수율(含水率)에 따라 전파신호의 감쇄 특성을 이용하여 전파신호의 세기를 용이하게 검출할 수 있는 구조가 되는

것이 바람직하다<sup>1,2)</sup>.

전파신호에 의한 유전물질 내의 함수율 측정에 사용되는 안테나로는 동작 주파수가 수 GHz 이상인 마이크로파 신호를 이용한 혼(horn) 안테나나 누설(leakage) 도파관 안테나 등이 사용<sup>3,4)</sup>되고 있지만, 이들 안테나는 마이크로파대의 높은 주파수를 이용하므로 측정장치의 취급상의 문제점과 그 물리적 구조로 인한 장착상의 문제점이 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제점 등을 고려하여 장착이 용이하고 연속측정이 가능하며, 300MHz ~ 500MHz 주파수대에서 취급이 가능한 수분 센서용 안테나로 불요(spurious)파의 발생을 억제시킬 수 있는 커패시터(C)를 부하로 사용하는 안테나 모델을 제시하

\* 正會員, 蒼遠專門大學 情報通信系列

(Dept. of Electronics and Communications, Chang-Won Junior College)

接受日字: 1998年11月4日, 수정완료일: 1999年3月22日

였다.

한편, 안테나상의 부하를 인덕터(L)로 사용하는 안테나 모델의 경우<sup>[9]</sup> 공진점 부근에서 입력임피던스의 리액턴스 값이 다소 크게 나타나고 동작 주파수에서의 이득이 0dBd 이하로서 다소 낮게 나타나는 특성을 보였다. 또한, 수치해석 과정에서 주파수 500MHz~1GHz대에서는 50Ω 입력 임피던스 조정이 용이하지 못하고, 1GHz 이상의 주파수대에서는 입력임피던스가 광대역 특성을 보였다.

제시된 안테나 모델의 구조는 일정 반경의 원형 도체 면을 접지 면으로 사용하고 접지면상의 일정 높이에 수평으로 루우프의 일부분을 개방시켜 개 루우프(open-loop)로 하였으며, 개 루우프 상의 일 점을 급전 점으로 하여, 급전 점의 좌, 우측으로 일정거리 지점에 부하를 장착하기 위한 부하 점과 단락 점을 위치시킨, 개 루우프 형 안테나 구조로서, 이 안테나의 제 동작특성에 영향을 줄 수 있는 파라미터를 변화시키면서 수분센서용 안테나로서 적합한 구조가 되는 안테나로 설계하였다.

본 논문에서 제시된 안테나 모델에 대한 해석은 안테나를 N개의 선소로 분할한 다음 전자파의 기본 방정식인 맥스웰 방정식과 각 구조물의 경계조건을 사용하여 유도된 미·적분방정식을 삼각형 전개함수(expanding function)와 가중함수(weighting function)를 이용하여 행렬식으로 치환하여 안테나상의 전류분포를 구하는 Galer-kin 해법에 기초한 모멘트 법<sup>[5-8]</sup>을 이용하여 수치해석 하였다.

수치해석 과정을 통하여, 본 논문에서 제시된 커패시터를 부하로 사용하는 안테나 모델이 안테나 구조상 다소 차이는 있지만 인덕터를 부하로 사용하는 경우<sup>[9]</sup>나 마이크로파용 안테나의 경우<sup>[3,4]</sup>보다 장착이 용이하고 소형이면서 적합한 구조와 동작특성을 갖고 있음을 확인하였다.

## II. 해석 안테나 모델

본 논문에서 제시된 해석 안테나 모델은 접지 면으로부터 일정 높이에 수평으로 놓인 개 루우프 형 안테나를 기본 모델로 설정하고 안테나가 갖는 동작특성을 분석하여 전파신호에 의한 함수 율 계측장치에 적합한 구조의 안테나로 설계하였다.

설계하고자하는 안테나의 동작 주파수는 300 MHz

z~500MHz대에서 입력 임피던스가 50Ω으로 되며, 불요파의 복사를 억제시킬 수 있고 안테나의 중심 축상으로 균일 복사특성을 갖는 안테나를 구하도록 하였다. 또한 안테나를 소형화하기 위하여 안테나 소자간에 커패시터를 부하로 하는 방법을 택하였다.

그림 1은 본 논문에서 제시한 개 루우프 안테나 모델이다. 이 안테나 모델은 장착의 용이성을 고려하여 개 루우프의 반경(r)을 최대 32mm로, 접지 면과 안테나 복사 체와의 높이(h)는 최대 8.0mm로 하였으며, 안테나 선로의 폭(w)은 최대 5.0mm로 하였다. 또한, 폐 루우프 안테나에서 개방구간을 30°의 폭 13mm로 하여 개 루우프 형태를 취하였으며, 안테나의 개방 단으로부터 l<sub>1</sub>=11 mm인 지점과 l<sub>2</sub>=11 mm인 지점에 각각 부하 커패시터를 장착할 수 있는 부하 점을 두었으며, 급전 점은 부하 점(C<sub>2</sub>)으로부터 l<sub>3</sub>=35mm인 지점에 위치시키고, 부하 점(C<sub>1</sub>)으로부터 l<sub>4</sub>=5mm인 점에는 단락 점을 두었으며, 개 루우프 선로의 전체 길이는 144mm로 하였다.

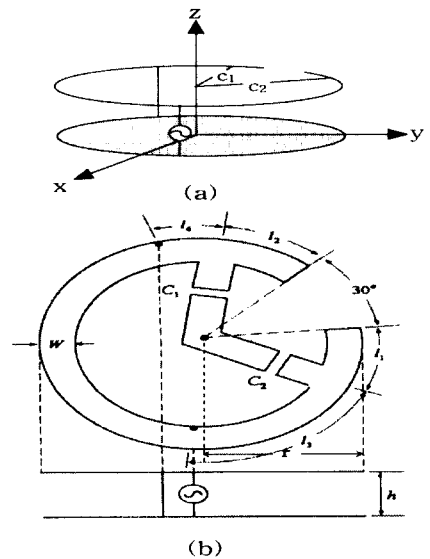


그림 1. 해석 안테나 모델  
(a) 좌표축 상의 안테나 구조  
(b) 안테나의 평면도와 정면도

Fig. 1. Analyzed antenna model.  
(a) Antenna structure over coordinate system  
(b) A front and a plan view of antenna

제시된 안테나 모델에는 안테나의 제 특성에 영향을 줄 수 있는 파라미터(개 루우프의 반경, 접지 면과 복

사 체와의 높이, 도체면 선로의 폭, 부하 값)가 많이 있다.

본 논문에서는 제시된 안테나 모델에 대하여 상기의 파라미터 값들의 변화에 대한 입력 임피던스와 공진 주파수의 변화특성 그리고 복사패턴 및 이득특성에 대하여 고찰하였다.

### III. 수치해석 결과 및 고찰

수치계산에서는 안테나를 N개의 선소(segment)로 분할한 다음, 기본 반파장 다이폴 안테나에 대한 임피던스의 수렴특성을 고려하여 미소 전류구간의 분할 개수를 59개로 설정하고, 전개함수와 가중함수를 이용하여 임피던스 행렬요소를 구한 다음, 이 임피던스 행렬과 부하 임피던스를 이용하여 전체 임피던스를 구하였다. 그리고 임피던스의 역 행렬로부터 전류행렬을 구하고 급전 점에서의 전압과 전류행렬 요소의 비를 이용<sup>[7]</sup>하여, 안테나 급전 점에서의 입력 임피던스를 구하고 복사패턴 및 이득을 구하였다. 또한 제시된 안테나 모델에는 그 구조상, 3개의 도선이 만나는 접합점이 존재하는데, 이 3개 도선 접합부에서 키르히호프(Kirchhoff)의 전류법칙<sup>[7,8]</sup>이 성립하는지를 확인하였다. 이상과 같이 설명되는 모멘트법에 의한 수치해석 과정을 나타내보면 그림 2와 같이 된다.

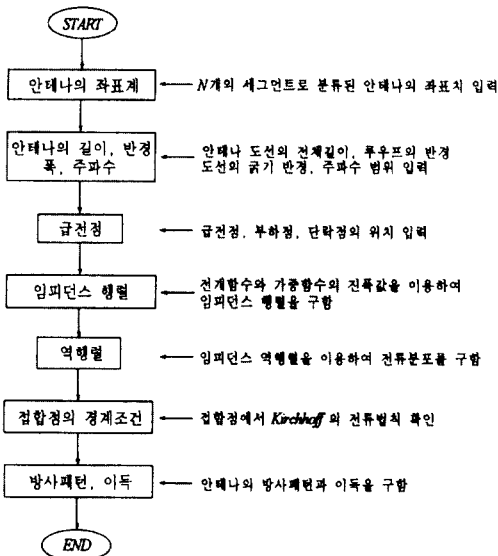


그림 2. 모멘트법에 의한 수치해석 과정  
Fig. 2. Numerical process by the moment method

모델화된 안테나에서 루우프의 반경, 선로의 폭, 접지면에 대한 복사 체의 높이, 부하 값 등 파라미터의 변화에 대한 수치해석 결과는 다음과 같다.

그림 3은 제시된 개루우프 안테나 모델에서 접지면에 대한 복사 체의 높이  $h=1.5\text{mm}$ , 개루프의 반경  $r=25\text{mm}$ , 선로의 폭  $w=5.0\text{mm}$ 를 기준 값으로 설정하고 개 루우프의 반경 변화에 대한 공진 주파수와 50  $\Omega$ 으로 정규화된 입력 임피던스의 변화특성을 나타낸 것이다.

그림 3에서는 보는바와 같이 안테나의 반경  $r=25\text{mm}$ 를 기준으로 높이가 8.0mm인 경우에 비하여 1.5mm인 경우가 공진 주파수 부근에서의 입력 임피던스의 리액턴스 값이 확실히 낮게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 높이가 1.5mm인 경우는 반경이 증가함에 따라 공진 주파수는 낮은 쪽으로 이동하고, 높이가 8.0mm인 경우는 이와 상반된 방향으로 공진 주파수가 이동하고 있음을 확인 할 수 있다.

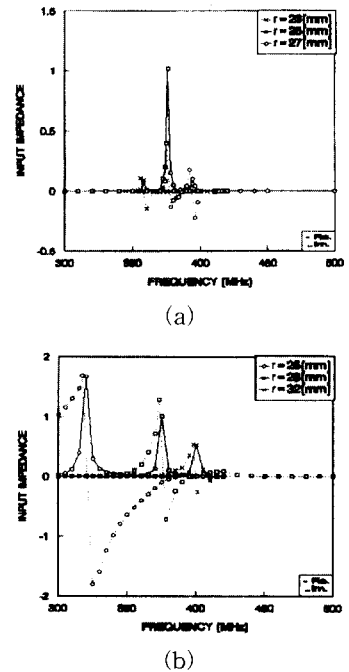
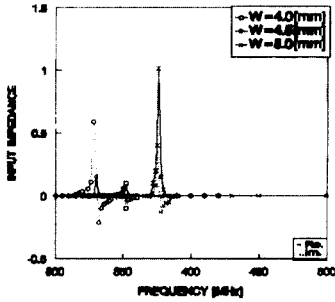


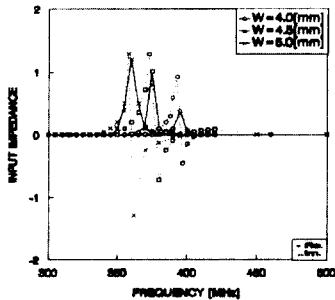
그림 3. 개 루우프 반경의 변화에 따른 공진 주파수와 임피던스 변화특성  
(a) 높이 1.5mm인 경우  
(b) 높이 8.0mm인 경우

Fig. 3. Resonance frequency and impedance variation characteristics via varying of the open-loop radius.  
(a) the height of 1.5mm  
(b) the height of 8.0mm

그림 4는 개 루우프의 반경  $r=25\text{mm}$ 를 기준 값으로 한 선로 폭( $w$ )의 변화에 따른 공진 주파수와 임피던스 변화 특성을 나타내었다. 높이 1.5mm로 하였을 때는 폭이 증가함에 따라 공진 주파수는 높은 쪽으로 이동하고 8.0mm인 경우는 폭의 증가에 따라 공진 주파수가 낮은 쪽으로 이동하고 있음을 알 수 있다.



(a)



(b)

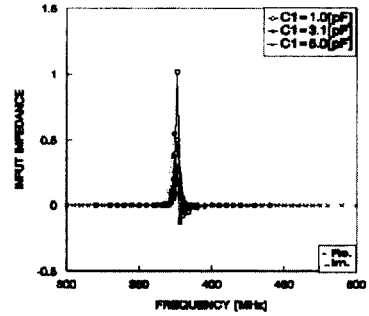
그림 4. 개 루우프 선로 폭의 변화에 따른 공진 주파수와 임피던스 변화특성  
(a) 높이 1.5mm인 경우  
(b) 높이 8.0mm인 경우

Fig. 4. Resonance frequency and impedance variation characteristics via varying of the open-loop line width.  
(a) the height of 1.5mm  
(b) the height of 8.0mm

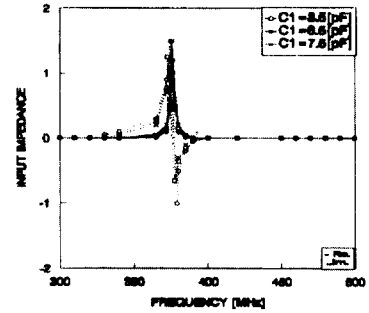
그림 5와 6은 제시된 안테나 모델에서  $r=25\text{ mm}$ ,  $w=5.0\text{mm}$ ,  $h=1.5\text{mm}$ 로 하였을 경우, 부하 커패시터 ( $C_1, C_2$ ) 값의 변화에 따른 공진 주파수와 입력 임피던스의 변화특성을 나타낸다. 그림에서 보는바와 같이 부하  $C_1, C_2$  값이 변화하는 경우, 공진 주파수의 이동은 거의 없고 단지 입력 임피던스 값만이 변화하고 있음을 알 수 있다.

이는 부하 커패시터의 값이 공진 주파수를 이동시키는 작용보다는 공진 주파수에서 입력 임피던스 값을

조절할 수 있는 파라미터로 작용하고 있음을 의미한다. 또한 높이를 8.0mm로 하는 경우보다는 1.5mm로 하였을 때 공진 점 부근에서의 입력 임피던스의 리액턴스 값이 작게 나타나며, 협대역 공진 특성을 보여주고 있다.



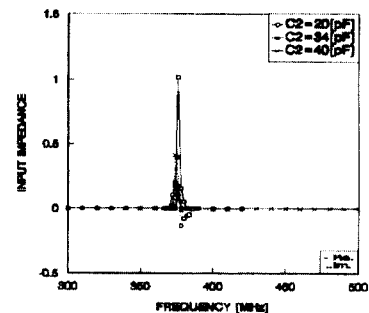
(a)



(b)

그림 5. 부하 커패시터  $C_1$  값의 변화에 따른 공진 주파수와 임피던스 변화특성  
(a) 높이 1.5mm인 경우  
(b) 높이 8.0mm인 경우

Fig. 5. Resonance frequency and impedance variation characteristics via varying of the loading capacitor  $C_1$  values.  
(a) the height of 1.5mm  
(b) the height of 8.0mm



(a)

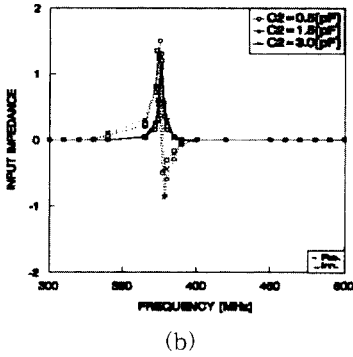


그림 6. 부하 커패시터  $C_2$  값의 변화에 따른 공진 주파수와 임피던스 변화특성  
(a) 높이 1.5mm인 경우  
(b) 높이 8.0mm인 경우

Fig. 6. Resonance frequency and impedance variation characteristics via varying of the loading capacitor  $C_2$  values.  
(a) the height of 1.5mm  
(b) the height of 8.0mm

그림 7은 본 논문에서 제시된 개루우프 안테나가 구조상 가지고 있는 3개 도선 접합부(단락점)에서의 전류분포특성을 나타낸 것이다. 안테나 도선의 접합점에서 키르히호프(Kirchoff)의 전류법칙을 만족하고 있음을 확인 할 수 있다.

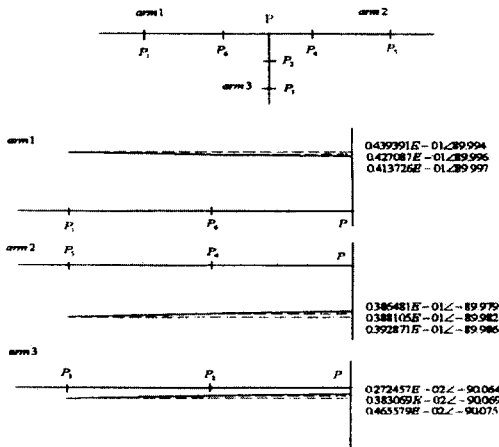


그림 7. 안테나 3개 도선 접합부에서의 전류분포  
Fig. 7. Current distribution at the junction points of the three conductor wires on antenna.

그림8은 모델 안테나에서 안테나의 반경 25 mm, 선로의 폭 5.0mm, 복사체의 높이 1.5mm, 부하  $C_1=3.1pF$ ,  $C_2=34pF$  그리고 동작 주파수 376MHz로 하

였을 경우,  $xz$ 와  $yz$  평면에서의 복사패턴과 높이 및 주파수 변화에 따른 이득관계를 나타낸 것이다. 그림 8(a)에서 보는바와 같이 동작 주파수에서의 복사패턴 중  $E_\theta$  성분은 약  $45^\circ$  부근에서 약간 감소하는 특성을 보이지만  $E_\phi$  성분은 대칭성을 보이며 안테나 중심 축 상으로 거의 균일 분포로 나타나고 있다. 그림 8(b)의 경우는 주파수 300MHz~500MHz 대에서의 반파장 다이폴 안테나에 대한 이득으로서 약 2.5dBd 정도를 보이며, 높이와 주파수 변화에 따른 이득 편차는 약 0.5dBd 정도로 나타나고 있다.

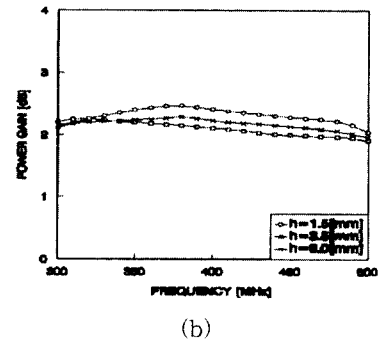
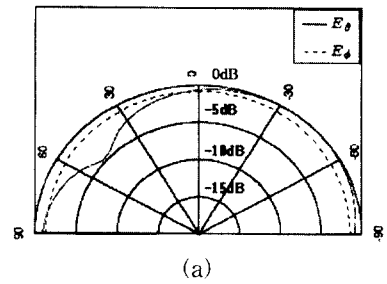


그림 8. 복사 패턴과 전력이득  
(a) 복사 패턴  
(b) 주파수 변화에 따른 전력 이득  
Fig. 8. Radiation pattern and power gain.  
(a) Radiation pattern  
(b) Power gain via varying of frequency

이상의 제시된 모델 안테나에 대한 수치해석 결과, 개 루우프의 반경( $r$ )과 복사 체의 높이( $h$ ) 그리고 안테나 선로의 폭( $w$ )은 안테나의 공진 주파수를 이동시키는데 큰 영향을 주는 것으로 나타났으며, 부하 커패시터( $C_1, C_2$ )의 값은 공진 주파수에서의 입력 임피던스를 조절할 수 있는 파라미터임을 확인하였다. 또한 복사 체의 높이 3.5mm를 경계로 파라미터의 변화에 따른 공진 주파수의 변화특성이 서로 상반된 방향으로 이동하고 있음을 알 수 있으며, 접지 면에 대한 복사

체의 높이가 낮은 쪽( $h=1.5\text{mm}$ )이 높은 쪽( $h=8.0\text{mm}$ )보다 공진 점 부근에서의 입력 임피던스의 리액턴스 값이 현저히 작게 나타나고, 협대역 공진 특성을 보이며, 또한 동작 주파수에서 안테나의 중심 축 상으로 균일 분포의 복사패턴을 보이고, 반파장 다이폴 안테나에 대한 이득이 약 2.5dBd 정도로 나타났다. 이는 안테나를 소형화할 수 있음을 의미한다. 또한, 안테나 상의 부하를 인덕터로 사용하는 경우보다는 커패시터를 사용하는 경우가 안테나 구조상 다소 차이는 있지만 안테나의 제 특성이 좋게 나타나고 있음을 알 수 있었다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 수분센서용으로 적합한 구조를 갖는 개 루우프 안테나를 모델로 제시하고, 안테나 모델 파라미터의 변화에 따른 동작특성을 모멘트 법을 이용하여 수치해석 하였다.

수치해석의 결과, 제시된 개 루우프 안테나 모델은 접지 면과 복사 체와의 높이를 높게 하는 것보다는 낮게 하는 경우, 또한 부하를 인덕터를 사용하는 방법보다는 커패시터를 사용하는 것이 동작 주파수 부근에서 입력 임피던스의 리액턴스 값을 확실하게 줄일 수 있으며 또한, 협대역 공진 특성을 보임을 알 수 있었다. 그리고 안테나의 개 루우프 반경, 복사 체의 높이, 도선의 폭의 변화는 공진 주파수를 이동시키는 파라미터로 작용하고, 안테나 상의 부하 커패시터 값의 변화는 공진 주파수에서의 입력 임피던스를 조절할 수 있는 파라미터로 작용하였다.

한편 이 안테나는 동작 주파수 300MHz~500MHz에서 반파장 다이폴 안테나에 대한 이득이 약 2.5dBd 정도로 나타났으며, 또한 개 루우프의 반경 25mm, 접지 면과 복사 체와의 높이 1.5mm, 도선의 폭 5.0mm, 부하 커패시터  $C_1$  값 3.1[pF], 부하 커패시터  $C_2$  값 34[pF]에서 공진 주파수 376MHz, 입력 임피던스  $50\Omega$ 이 얻어졌다. 이 동작 주파수에서의 복사패턴은 안테나의 중심 축 상으로 거의 균일 분포의 특성을 보였다.

따라서 본 논문에서 제시된 개 루우프 안테나 모델은 소형으로 취급이 용이하고, 동작 주파수에서 협대역 공진 특성을 갖기 때문에 불요파의 발생을 억제할

수 있으며, 안테나의 중심 축 상으로 균일 분포의 복사특성을 가지므로 수분센서용 안테나로서 적합한 구조와 동작특성을 갖고 있음을 확인하였다.

향후 본 논문에서 설계된 안테나의 수치해석 결과는 실제 제작될 안테나의 측정치와 비교할 것이며, 또한 이 안테나 모델은 수분 센서용 안테나로서 각종 물질 내에 포함되어있는 수분의 량을 측정하는데 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] A. Kraszewski, "A model of the dielectric properties of wheat at 9.4 GHz", J. microwave Power, vol 13, pp293-301, 1978.
- [2] R. W. Newton, "Microwave remote sensing and its application to soil moisture detection", Tech. Rep. RSC-81, 1975.
- [3] E. Bahar, J. D. Saylor, "A feasibility study to monitor soil moisture content using microwave signals", IEEE MTT-31, No7. pp533-541, 1983.
- [4] W. Meyer, W. M. Schilz, "Feasibility study of density independent moisture measurement with microwaves", IEEE MTT-29. No7, pp732-739, 1981.
- [5] R. F. Harrington, "Field computation by moment method", ch2,3 Macmillan Company, N. Y. pp.62-106, 1968.
- [6] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, "Antenna theory and design", pp306-336, John Wiley & sons. N. Y., 1981.
- [7] 佐藤源貞, 川上春夫, "アンテナ理論とその應用", pp142-157, シマツデータシステム 1993.
- [8] A. Balanis "Antenna Theory (Analysis and Design)". John Wiley & Sons. N. Y., 1982.
- [9] 정주수, 주창복, "수분측정장치용 인덕턴스 부하 소형 개루우프 진행파 안테나의 특성 해석", 대한전자공학회, 논문지-A, pp.111-120, 7, 1996.

## — 저 자 소 개 —



鄭周洙(正會員)

1963년 2월 3일생.

1987년 2월 경남대학교 전자공학과 공학사. 1991년 2월 경남대학교 전자공학과 공학석사. 1997년 2월 경남대학교 전자공학과 공학박사. 1996년 3월~현재 창원전문대학 정보통신계열 전자통신전공 전임강사. 주관심분야는 안테나 및 전자파 신호처리, 무선통신, RF 회로설계