

論文96-33A-7-11

# 수분측정장치용 인덕턴스부하 소형 개루우프 진행파 안테나의 특성해석

(Analysis of inductance loaded small type open-loop travelling wave antenna for moisture measurement systems)

鄭周洙\*, 周昌福\*\*

(Joo Soo Jeong and Chang Bok Joo)

## 요 약

본 논문에서는 VHF/UHF대 수분측정장치용 안테나 구조로 적합한 인덕턴스부하 소형 개루우프 진행파 안테나모델을 제시하고 Galerkin법에 의해 그 동작특성을 해석하였다.

본 논문에서 제시된 이 안테나 모델은 안테나치수의 설계변경없이 부하인덕턴스값을 변화시킴에 따라 주파수 150MHz - 1.0GHz범위내에서 안테나의 공진주파수를 변경시킬수 있고 각 공진점에서 유사한 동작특성을 보인다. 또한 안테나 중심축상에 균일한 전파방사특성을 가지며 협대역 공진특성이 있기 때문에 불요파 방사를 억제시킬수 있어 VHF/UHF 대에서의 유전물질내의 함수율 계측이나 밀도계측장치용 안테나로써 적합한 구조와 동작특성을 갖는다.

## Abstract

In this paper, we proposed an inductance loaded small type open-loop travelling wave antenna model for the suitable VHF/UHF frequency bands moisture measurement systems and analyzed its operating characteristics by Galerkin's solution method.

This antenna model enables to change the operating resonance frequency from the frequency range 150 Mhz to 1.0 Ghz without changing the antenna design dimensions by only varying the load inductance values and it showed the similar operating characteristics and narrowband resonance characteristics at each resonance frequencies. Also this model showed the uniformly distributed power radiation characteristics above the loop axis and it can effectively suppress the spurious radiations from its narrowband resonance characteristics.

## I. 서 론

\* 正會員, 昌原專門大學 電子通信科

(Dept. of Electronic and Communication, Chang-won Junior College)

\*\* 正會員, 慶南大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Engineering, KyungNam Univ.)

※ 본 연구는 1994년도 慶南大學校 新素材研究所 연구 지원과 大光産電(株)의 후원에 의하여 수행되었음  
接受日字: 1995년8월19일, 수정완료일: 1996년5월8일

유전물질내에 포함되어 있는 수분(水分)에 의해 전파 에너지는 흡수되며 수분을 포함하는 유전물질은 전파 에너지에 대해 지수함수적인 감쇄특성을 갖는다. <sup>[1,2]</sup>

전파에너지의 감쇄특성을 이용하는 함수율(含水率)의 측정방법에서는 물분자의 공진주파수가 아닌 경우라도 감쇄에 의한 전파에너지의 손실만을 측정하면 가능하게 되며 함수율의 측정 정도(精度)를 높이기 위하여 측정재료의 입자크기에 따라 적절한 주파수대를 선정하

여 사용하기도 한다.<sup>[3,4,5]</sup>

전파신호에 의한 유전물질의 함수율 계측을 위한 안테나의 구조로는 마이크로파 혼(horn)안테나나 슬롯구조의 누설도파관 안테나등이 사용되고 있으며<sup>[4-7]</sup> 이러한 안테나의 구조에서는 그 물리적 구조상 동작주파수가 수 GHz이상인 마이크로파의 전파신호가 사용되어지고 있다.

본 논문에서는 이러한 안테나의 물리적구조로 인한 장착상의 문제점과 마이크로파대의 높은 주파수라는 계측장치의 취급상의 문제점을 고려하여 레미콘용 모래의 함수율 계측장치를 위한 센서용 안테나로써 레미콘용 모래 벙지(bin)에의 장착이 용이하고 연속측정이 가능하며 계측장치의 취급상 VHF/UHF 의 주파수대에서의 취급이 가능한 안테나로써 소형이면서 불요파의 방사를 억제시킬 수 있는 안테나모델을 제시하였다.

본 논문에서 제시한 안테나모델은 접지 도체면상의 높이 6.9 mm의 위치에 도선의 굵기는 반경 1.5 mm 이고 도선의 길이는 138 mm이며 일단(一端)을 개방시켜 만든 반경 25 mm의 개루우프(open loop)를 수평으로 위치시키고 접지면에 대하여 루우프상의 일점을 급전점으로 하고 급전점의 좌,우측으로 일정거리 지점에 인덕턴스 부하점과 단락점을 갖는 구조의 인덕턴스 부하 개루우프 진행파 안테나모델이다.

이 안테나모델에 대한 동작특성을 Galerkin 해법에 기초한 모멘트법<sup>[8,9]</sup>을 이용하여 해석한 결과 부하 인덕턴스값을 변화시킴으로써 주파수 150 Mhz - 1.0 Ghz의 주파수 범위에서 협대역의 공진특성이 있음을 알았으며 각각의 공진점에서 서로 유사한 동작특성이 있음을 보였다.

## II. 모멘트법을 이용한 임의도선 안테나 해석

### 1. 행렬방정식의 유도

도선의 굵기인 반경  $a$ 가 길이  $l$ 에 비하여 충분히 작은 임의의 도선 안테나에 대하여 전류는 개루우프 안테나의 회전방향( $\hat{\theta}$ )으로만 흐른다고 가정할 수 있으므로 Maxwell방정식에 의해 다음과 같이 나타내진다.

$$\vec{E}^s = -j\omega\vec{A} - \nabla\phi \tag{1a}$$

$$\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi} \int_{\text{along wire}} \vec{I}(\ell') \frac{e^{-jkr}}{r} d\ell' \tag{1b}$$

$$\phi = \frac{1}{4\pi\epsilon} \int_{\text{along wire}} \sigma(\ell') \frac{e^{-jkr}}{r} d\ell' \tag{1c}$$

$$\sigma = \frac{-1}{j\omega} \frac{dI(\ell')}{d\ell'} \tag{1d}$$

여기서  $\ell'$ 은 안테나의 길이이고  $r$ 은 안테나도선상의 source점과 공간상의 임의의 field점 사이의 거리이고 다음과 같다.

$$r = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2} \tag{2}$$

그림 1과 같이 도선의 반경이  $a$  인 임의의 도선 안테나의 구조에서 점  $P_{ij}$ 은 안테나 선상의 점으로  $i$ 는 안테나의 번호,  $j$ 는  $i$ 번째 안테나소자상의 위치점이며 점  $P_{ij}$ 과  $P_{ij+1}$ 사이의 미소구간(segment)의 길이  $\Delta\ell_{ij}$ 는 두 점간의 거리를 나타낸다.

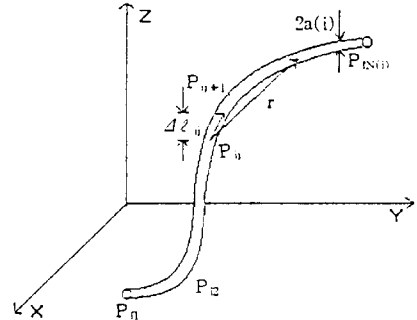


그림 1. 임의의 도선안테나와 좌표계

Fig. 1. Arbitrary conductor wire antenna and coordinate system.

식(1a)의 해는 도선 안테나를  $\Delta\ell_{ij}$ 의 길이를 갖는  $N$ 개의 미소전류구간으로 분할하고 안테나에 흐르는 전류와 전하분포를 다음과 같이 전개함수(expanding function)  $F_{in}$ 을 사용하여 유한급수열의 선형 근사화한 식에 의해 Galerkin해법에 기초한 모멘트법을 이용하여 구하였다.

$$I(\ell) = \sum_{i=1}^N \sum_{n=1}^N I_{in} F_{in} \tag{3a}$$

$$\sigma(\ell) = \frac{-1}{j\omega} \sum_{i=1}^N \sum_{n=1}^N \frac{I_{in+1} F_{in+1} - I_{in} F_{in}}{\Delta\ell_{in}} \tag{3b}$$

여기서 전류분포에 관한 전개함수  $F_{in}$ 은 4개의 미소전류구간에 걸쳐 삼각형 함수를 만들고 안테나의 중단을 제외한 2개의 미소구간에 중복시켜 연속적으로 삼각형 함수를 만들면 미분 가능한 연속함수로 취급할

수 있게 되고 전체 분할상의 전류와 전위분포가 완만하게 변하게 된다.<sup>[8,9]</sup> 삼각형 전개함수는 점  $P_{i2n+1}$ 에 최대값 1을 갖도록 하고 다음과 같이 놓았다.

$$F_{in} = \begin{cases} 1 - \frac{|\ell - P_{i2n+1}|}{\Delta\ell_{i2n}} & P_{i2n-1} < \ell < P_{i2n+3} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

지금 적분과 미분에 관한 식(1a)의 함수방정식을 모멘트법에 의해 행렬방정식화하기 위하여 선형연산자  $L$ 을 안테나 표면  $S$ 면상의 접선성분에 대하여

$$L(\vec{I}) = [j\omega \vec{A} + \nabla\phi]_{tan} \quad (5)$$

와 같이 정의한다. 여기서  $L(\vec{I}) = E^i_{tan}$  ( $S$ 면상에서)이고 부가적인 경계조건으로 안테나의 종단에서  $\vec{I} = 0$ 이다. 또 식 (3a)를 식(1a)에 대입하면

$$\sum_{i=1}^N \sum_{n=1}^N I_{in} L F_{in} = E^i_{tan} \quad (6)$$

로 되고 가중함수  $W_{jm}$ 에 대한 내적의 정의식<sup>[8,9]</sup>을 식(6)에 적용하면 다음과 같이 된다.

$$\sum_{i=1}^N \sum_{n=1}^N I_{in} \langle W_{jm}, L F_{in} \rangle = \langle W_{jm}, E^i_{tan} \rangle \quad (7)$$

단  $j = 1, 2, 3, \dots, N$

$m = 1, 2, 3, \dots, N(j)$

$N =$  안테나의 수

$N(j) = j$ 번째 안테나상의 전개함수의 수

이렇게 이산화된 식(7)은 다음과 같이 회로 행렬방정식으로 다시 나타내질 수 있다<sup>[8,9]</sup>. 즉,

$$[Z][I] = [V] \quad (3)$$

여기서 규격화된 임피던스행렬의 성분  $Z_{mn}$ 은 다음과 같이 표현된다. [부록]

$$\begin{aligned} Z_{jm, in} &= \frac{j\omega\mu}{4\pi} \sum_{n=1}^N W_{jm} F_{in} \Psi(Q_{jm}, Q_{in}) + \\ &= \frac{1}{j4\pi\omega\epsilon} \sum_{n=1}^N \frac{dW_{jm}}{d\ell'} \frac{dF_{in}}{d\ell} \Psi(Q_{jm}, Q_{in}) \\ &= j\omega\mu Z_1 + \frac{1}{j\omega\epsilon} Z_2 \\ \Psi(Q_{jm}, Q_{in}) &= \frac{1}{4\pi d_{in}} \int_{P_n}^{P_{n+1}} \frac{e^{-jkr}}{r} d\ell' \end{aligned}$$

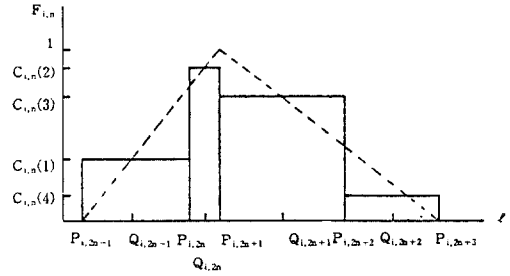


그림 2. 전류전개함수  $F_{in}$ 과  $F_{in} / d\ell$   
Fig. 2. Current expanding function  $F_{in}$  and  $F_{in} / d\ell$ .

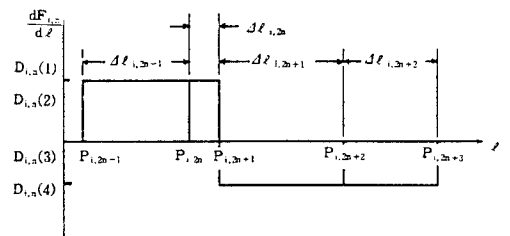


그림 3. 가중함수  $W_{jm}$ 과  $W_{jm} / d\ell'$   
Fig. 3. Weighting function  $W_{jm}$  and  $W_{jm} / d\ell'$ .

한편 전원 분할점에 인가되는 전압원은 급전점에 가해진 접선방향 전계의 delta-gap model<sup>[9]</sup>을 사용하여 다음과 같이 놓았다.

윗식의 수치계산은 그림 2와 그림 3에 나타낸것과 같이 삼각형 전개함수와 가중함수를 펄스와 임펄스를 사용하여 계산한다. 여기서 전개함수  $F_{in}$ 은 진폭  $C_{in}(1)\dots C_{in}(4)$ 의 펄스로,  $dF_{in}/d\ell$ 은 진폭  $D_{in}(1)\dots D_{in}(4)$ 의 펄스로 근사하여 나타낸다. 또 가중함수  $W_{im}$ 과  $dW_{im}/d\ell'$ 은 4개의 임펄스가 각각의 미소구간의 중앙점에 있도록하여  $W_{im}$ 은 진폭의 크기  $C_{im}(1)\dots C_{im}(4)$ 의 임펄스로,  $dW_{im}/d\ell'$ 은  $D_{im}(1)\dots D_{im}(4)$ 에 의해 나타낸다.

$$V_{jm} = \langle W_{jm}, E' \rangle = U_{jm} \quad (10)$$

2. 안테나 접합점에서의 전류분포의 보정

그림 4(a)에서와 같이 접합점 P에서는 Kirchhoff의 법칙에 의해

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0 \quad (11)$$

이 되어야 한다.

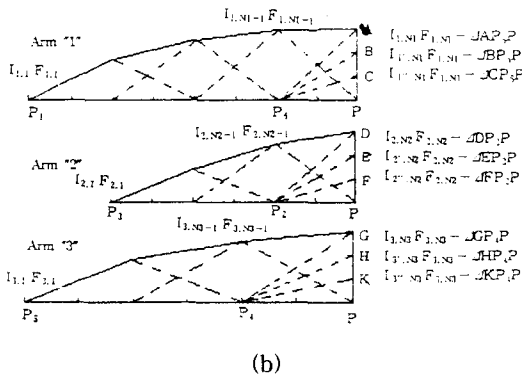
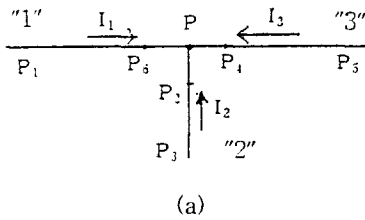


그림 4. 3개도선 접합부에서의 전류분포  
Fig. 4. Current distribution at the three conductor wires junction point (a) Current representation (b) Piecewise linear approximation

또 그림 4(b)에 나타낸것과 같이 접합부의 각 도선의 전류에도 전개함수를 사용하는 것에 의해 선형으

로 근사된다.  $F_{1N1}, F_{2N2}, F_{3N3}$ 는 2개의 선분상에만 존재하는 함수로 각 도선상의 전류는

$$\begin{aligned} I_{1N1} &= I_{1'N1} + I_{1''N1} \\ I_{2N2} &= I_{2'N2} + I_{2''N2} \\ I_{3N3} &= I_{3'N3} + I_{3''N3} \end{aligned} \quad (12)$$

이다<sup>[10]</sup>. 가정에 의해  $I_{1''N1} = -I_{3'N3}$ ,  $I_{2'N2} = -I_{1'N1}$ ,  $I_{3''N3} = -I_{2'N2}$  이므로 식(12)은

$$\begin{aligned} I_{1N1} &= I_{1'N1} - I_{3'N3} \\ I_{2N2} &= I_{2'N2} - I_{1'N1} \\ I_{3N3} &= I_{3'N3} - I_{2'N2} \end{aligned} \quad (13)$$

로 되며  $I_{1N1}, I_{2N2}, I_{3N3}$ 는 점 P에서 Kirchhoff 법칙을 만족해야 한다.

즉, 안테나의 접합점에서 미소구간  $PP_6, PP_2, PP_4$  상의 미지전류  $I_{1'N1}, I_{2'N2}, I_{3'N3}$ 는 이들 미소구간상에서 계산된 전류분포  $I_{1N1}, I_{2N2}, I_{3N3}$ 에 의해 식(13)을 이용하여 보정한다. 다만 접합점에서의 전류가 Kirchhoff의 법칙  $\sum_{i=1}^3 I_{iN1} = 0$ 를 만족하게 되면 동일한 결과로 된다. 이때의 식(13)의 해를 구하기 위하여  $I_{3'N3} = 0$ 을 놓으면 삼각형 전개함수의 조합은  $F_{11}, \dots, F_{1N1-1}, F_{1''N1}, F_{21}, \dots, F_{2N1-1}, F_{2''N2}, F_{31}, \dots, F_{3N1-1}$ 이 된다.

여기서

$$F_{1''N1} = F_{1N1} - F_{2N2} \quad (P_6, PP_2\text{상에서})$$

$$F_{2''N2} = F_{2N2} - F_{3N3} \quad (P_2, PP_4\text{상에서})$$

이다.<sup>[10]</sup> 그림 4의 접합부는 3개의 도선  $P_1PP_2, P_3P_1P_4, P_5P$ 으로 되어 있으며 여기서  $PP_2, PP_4$ 는 2개의 미소구간을 갖도록 한다. 이와 같은 방법에 의해 보다 복잡한 형상을 갖는 도선안테나에 대해서도 취급할 수가 있게 된다.

III. 해석안테나 모델과 그 동작 특성

1. 안테나의 구조

본 논문에서는 전파신호에 의한 레미콘벡지용 모델의 함수유계측장치에 적합한 안테나로써 그림 5와 같은 구조의 안테나를 모델화하고 II장에서 유도된 Galerkin 해법에 기초한 모멘트법에 의해 안테나의 동작특성을 수치계산하였다.

그림 5에서  $\ell_1=11$  mm,  $\ell_2=38$  mm,  $\ell_3=35$  mm,  $\ell_4=18$  mm이고 도선 루우프의 전체길이는 138 mm 이며 루우프의 반경은 25 mm, 안테나 도선의 반경을 1.5 mm, 접지면과 루우프면사이의 간격은 6.9 mm로 하였다.

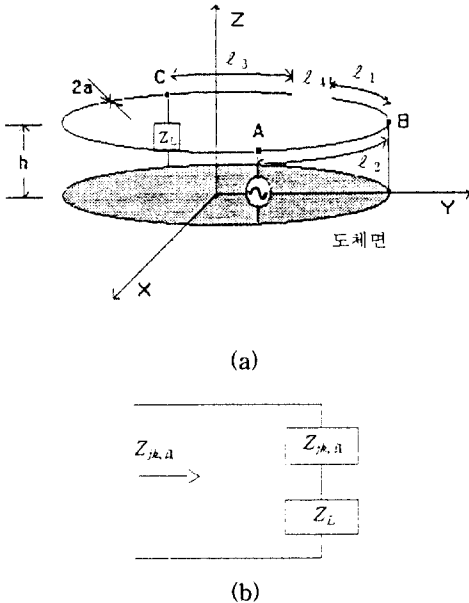


그림 5. 해석안테나 모델  
Fig. 5. Analyzed antenna model  
(a) Antenna structure and coordinate system (b) Equivalent circuit on the  $Z_{jk,il}$ .

또 개루우프의 일점(A점)을 급전점으로 하고 급전점으로 부터 좌,우측으로 일정거리지점에 단락점(B점)과 인덕턴스부하점(C점)을 만들어 안테나상에 진행파가 되는 구조로 하여 안테나 축상에 흡수율을 갖는 유전 물질에 의해 감쇄된 전파신호를 급전점과 단락점 사이에서 취할수 있도록 하였다.

부하점에 저항을 부하하는 경우에는 소모전력의 증가로 방사전력이 약해지고 안테나의 이득도 떨어진다. 반면 캐패시턴스를 부하로 사용하는 경우에는 이득은 높아지는 반면 공진주파수에서의 리액턴스가 큰값으로 나타나는 경향이 있었다. 따라서 부하점에 인덕턴스를 부하하고 그값만을 변화시켜 안테나의 동작주파수를 변화시키도록 하였다.

안테나의 동작주파수는 부하인덕턴스값의 변경에 의해서만이 아니라 단락점과 부하점의 위치를 변경시키는 것에 의해서도 가능하나 설정된 단락점과 부하점에

대하여 인덕턴스값만을 변경시키는 방법을 택하였다. 급전점을 개루우프의 중심점에 위치시키는 경우에는 안테나의 방사패턴이 비대칭적특성을 갖게 되어 개루우프의 중심점에서 단락점쪽으로 약간 이동시킴에 따라 대칭 특성이 나타났다.

2. 입력임피던스 특성

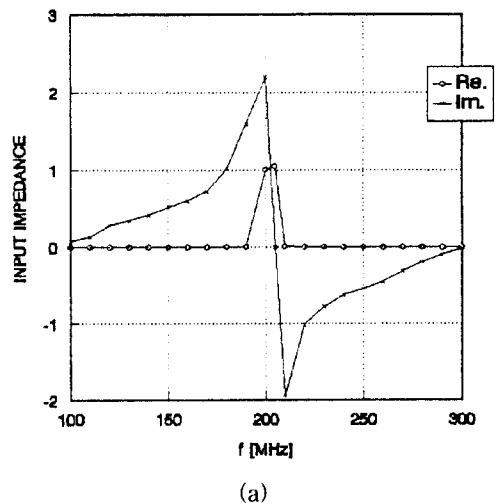
모멘트법 계산시 일정 임피던스의 수렴관계를 확인하여 미소전류 분할갯수를 59개로 하였다. 이때 임피던스는 약 2.1%이내의 오차수렴성을 보였다.

그림 5(b)의 등가회로에 의해 부하임피던스  $Z_L$ 을 부하점에 해당하는 미소전류구간에 의한 상호임피던스  $Z_{jk,il}$ 에 직렬로 처리하고 전체 임피던스행렬을 구하였으며 각 미소구간에 대한 전압행렬에 대한 역행렬로부터 전류행렬을 구한 다음 급전점에서의 전압과 전류행렬 요소의 비에 의해 입력임피던스를 구하였다.

그림 6에 인덕턴스값의 변화에 따른 동작주파수점에서 50  $\Omega$ 으로 규격화된 안테나 입력임피던스 관계를 나타내었다.

어느 동작주파수에서건 저항성분은 50  $\Omega$ 정도가 되고 리액턴스값은 동작주파수 부근에서 30  $\Omega$ - 160  $\Omega$ 정도로 다소 높게 나타나고 있으나 송,수신기와 안테나사이의 임피던스 정합에는 그다지 문제가 될 정도는 아니라고 볼 수 있다.

VHF/UHF주파수대에서는 그림 6에서와 같이 협대역의 공진특성을 나타내는 반면 1.0 GHz이상의 주파수에서는 설정된 부하점과 단락점에 대하여 부하인덕턴스의 값이 크게 낮아지고 VHF /UHF대의 공진점에 비하여 다소 광대역의 동작특성을 보였다.



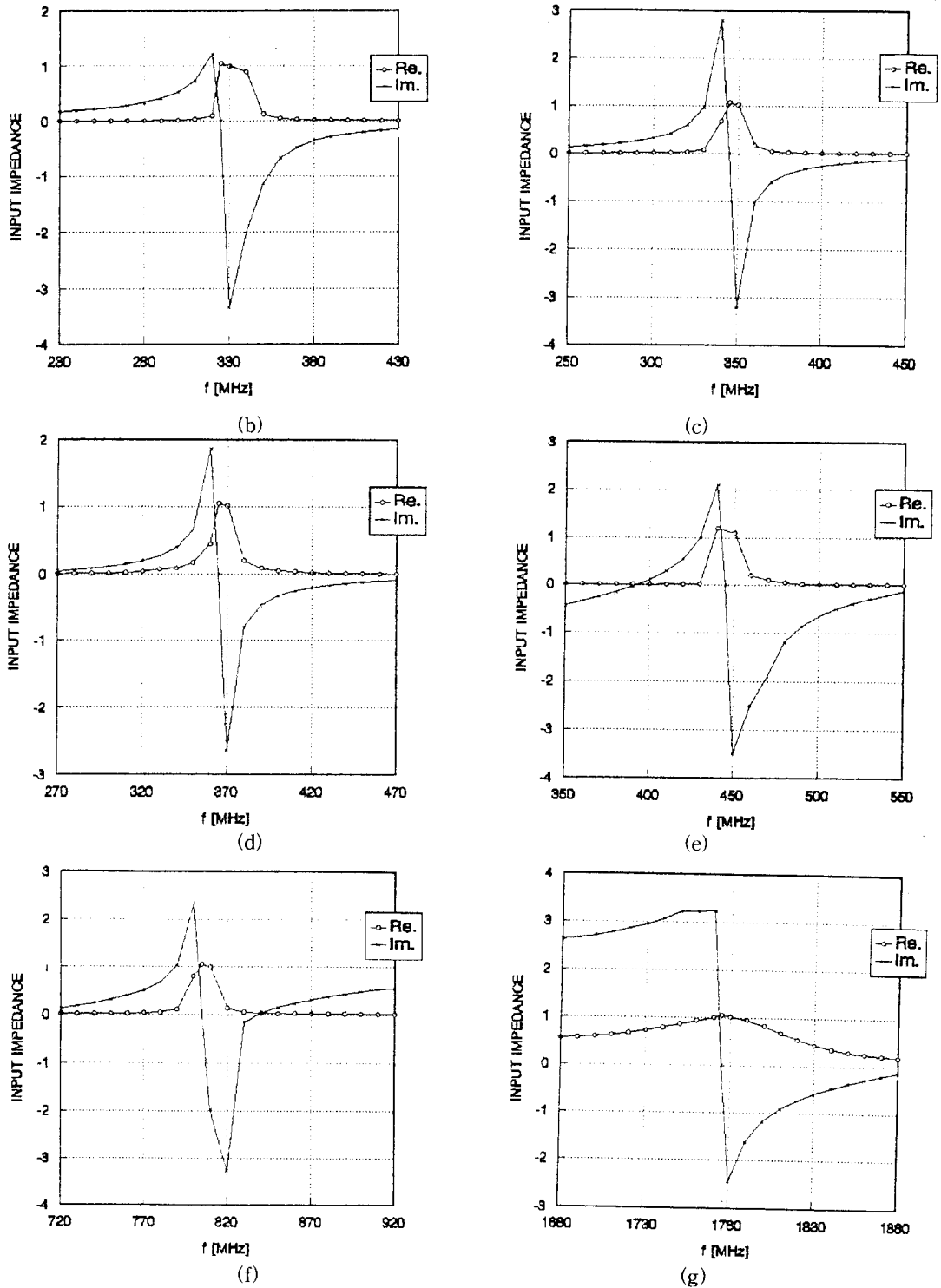


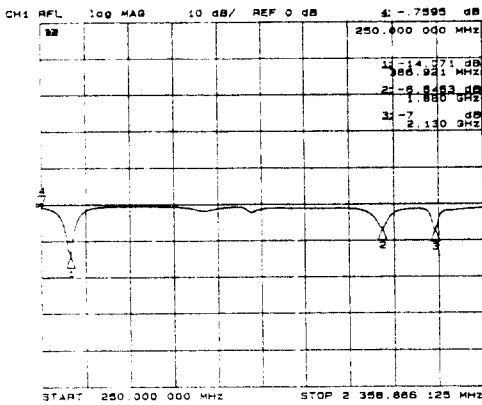
그림 6. 인덕턴스값에 따른 동작주파수와 임피던스

Fig. 6. Operating frequency and impedance via varying the inductance.

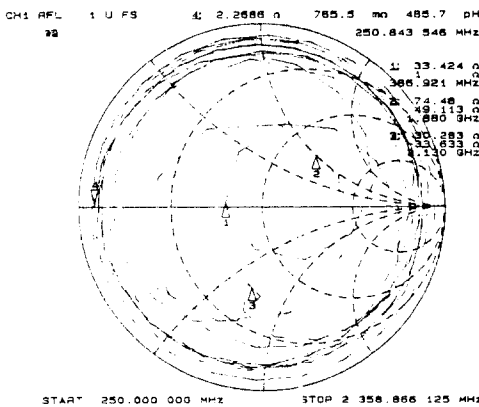
(a)  $L = 480\mu\text{H}$ ,  $f = 205\text{MHz}$  (b)  $L = 155\mu\text{H}$ ,  $f = 325\text{MHz}$  (c)  $L = 33.5\mu\text{H}$ ,  $f = 345\text{MHz}$

(d)  $L = 16.4\mu\text{H}$ ,  $f = 365\text{MHz}$  (e)  $L = 1.4\mu\text{H}$ ,  $f = 445\text{MHz}$  (f)  $L = 0.05\mu\text{H}$ ,  $f = 805\text{MHz}$

(g)  $L = 0.008\mu\text{H}$ ,  $f = 1775\text{MHz}$



(a)



(b)

그림 7. 안테나의 입력임피던스와 반사손실  
Fig. 7. Measurement results of input impedance and return loss.

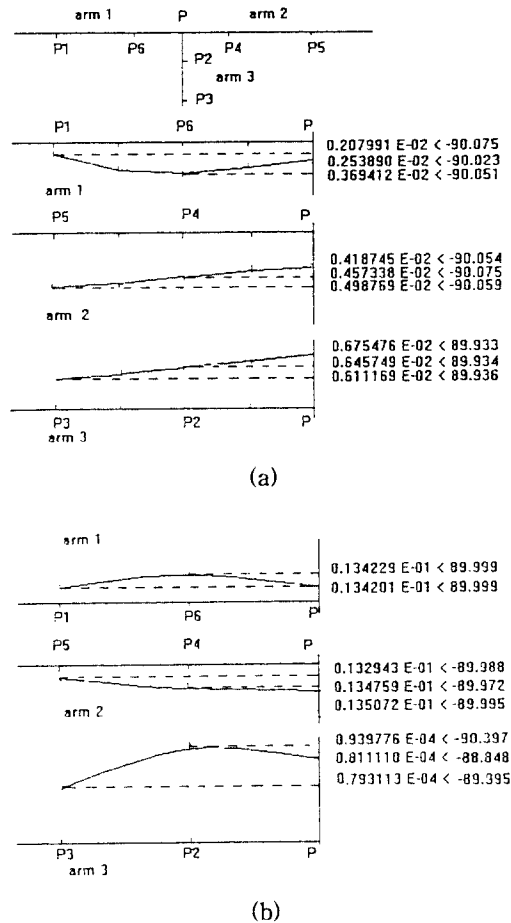
- (a) Return loss at feeding point
- (b) Input impedance

그림 7에는 본 연구에 의해 설계제작된 안테나모델에 대한 급전단에서의 입력임피던스와 반사손실을 측정된 결과를 보였다. 부하인덕턴스로는  $8 \mu\text{H}$ 의 인덕턴스 2개를 직렬로 하여  $16 \mu\text{H}$ 를 부하 인덕턴스로 하였다. 실험측정한 결과 제작된 안테나의 동작주파수는 386 MHz로써 그림 6(d)와 비교하여 다소 높은 쪽으로 이동되었다. 급전점에서의 반사손실은  $-14 \text{ dB}$ 정도이고 협대역의 동작특성을 보이고 있으며 입력임피던스는  $33.4 \Omega$ 로 나타나 있다.

그림 6(d)의 경우와 비교해 보면 입력임피던스의 실수부가 다소 낮게 되어 있으며 이때문에 안테나 입력단에서의 반사손실이 다소 높게 나타나고 있다.

이와 같은 오차는 정확한 부하 인덕턴스값을 맞추기가 어려웠다는 점과 안테나의 제작상에서 생겨나는 오차로 인한 것으로 생각할 수 있겠으나 본 실험의 결과 비교적 그 변화하는 패턴과 크기가 수치해석의 결과에 부응되고 있다고 생각되어진다.

그림 8은 부하점과 단락점의 3개도선 접합부에서의 전류분포관계를 나타내보였으며 각각의 접합점에서 Kirchhoff의 전류법칙을 만족하고 있음을 알 수 있다.



(b)

그림 8. 3개도선 접합부에서의 전류분포  
Fig. 8. Current distribution on the three conductor wires at the junction points.

- (a) At the junction point of load
- (b) At the junction point of short

본 논문에서 부하 인덕턴스값은  $550 \mu\text{H} - 0.001 \mu\text{H}$  사이의 범위에서 변경시켰으며 여기에 대응하는 공진 주파수는  $150 \text{ MHz} - 2.0 \text{ GHz}$  범위의 주파수에서 만들 수 있었다. 그러나  $1.0 \text{ GHz}$  이상의 주파수에 대하여는 부하인덕턴스값이 크게 낮아지므로 현실적으로 부

하인덕턴스값을 구현하기 어려운 문제점이 있게 되므로 본 논문에서 설정한 부하점과 단락점에 대하여서는 인덕턴스의 변화에 따른 공진주파수의 실현을 150 MHz - 1.0 GHz범위의 주파수로 보았다.

한편 현실적인 인덕턴스부하에 의해 1.0 GHz이상의 주파수대에서의 공진점을 만들려면 부하점을 급전점쪽으로 또는 단락점을 급전점쪽으로 이동시켜 인덕턴스값을 조정시켜 얻을수 있다. 이러한 경우에도 각공진점에서 유사한 특성의 임피던스와 방사전력패턴이 얻어지고 있다.

### 3. 방사전력패턴 특성

그림 9에 안테나의 방사전력패턴과 전력이득을 나타내었다.

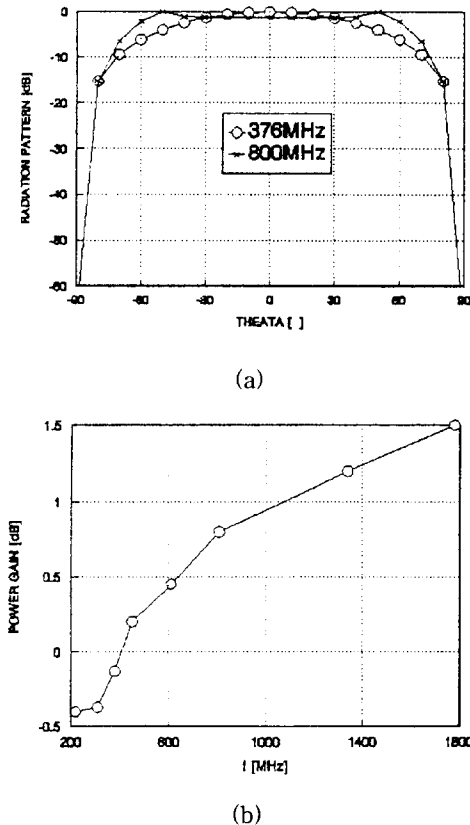


그림 9. 방사전력패턴과 전력이득  
Fig. 9. Radiation power pattern and power gain.  
(a) Radiation power pattern  
(b) Power gain

그림 9에서 보는바와 같이 805 MHz의 주파수에서의 방사패턴은 365 MHz의 주파수에서와 비교할때 안테

나의 중심축상면에서 1.2 dB정도 낮아지는 방사패턴특성을 보인다. 1.0 GHz이내의 주파수에서는 안테나 중심축상면에서 낮아지는 방사패턴의 정도가 최대 1.3 dB이내로써 거의 균일분포의 방사전력패턴특성을 보였다.

그림 9(b)에서와 같이 안테나의 방사전력이득은 주파수가 높아짐에 따라 약간씩 높아지는 특성을 보였다. 주파수 150 MHz - 1.0 GHz사이에서 반파장다이폴안테나에 대한 이득은 -0.05 - 1.5 dB정도이고 이 주파수대역의 동작주파수점에서 2 dB이내의 이득편차를 보였다.

## IV. 결 론

VHF/UHF대의 전파에 의한 레미콘벤티용 모래의 함수율계측장치에 적합한 소형의 안테나를 모델화하고 그동작특성을 Galerkin해법에 기초한 모멘트법에 의해 해석하고 실험을 통하여 수치해석의 결과와 비교 분석하였다.

본 논문에서 제시된 인덕턴스부하 소형 개루우프 진행파 안테나는 부하 인덕턴스값만을 변화시켜 안테나의 동작주파수를 변경시킬 수 있으며 각각의 공진점에서 유사한 동작특성을 보였다.

이 안테나는 150 MHz - 1.0 GHz범위에 있는 동작주파수에서 저항성분이  $50\Omega$ , 공진점부근에서의 리액턴스성분이  $30\Omega - 160\Omega$ 정도인 입력임피던스특성을 가지며 반파장다이폴에 대한 이득은 -0.05 - 1.5 dB 정도이고 개루우프축상에 균일방사특성을 갖는다. 또한 이 안테나는 협대역의 공진특성을 갖기때문에 불요파방사를 억제시킬 수 있어 전파신호에 의한 유전물질내의 함수율 계측장치용 안테나로써 적합한 구조와 동작특성을 갖고 있다.

한편 이 안테나는 1.0 GHz이상의 마이크로파대에서는 이득이 1.5 dB 이상이고 다소간 광대역 특성을 보이므로 소형의 이동통신용 안테나나 실내무선 LAN용 안테나모델로도 연구될 수 있으리라 생각되고 있다.

## 감사의 글

※ 본 논문의 모멘트법 수치해석을 위한 여러 자료와 도움을 준 일본 안테나技研의 川上春夫박사에게 감사사를 드립니다.



부 록

그림 2로부터  $C_{in}$ 과  $D_{in}$  및  $F_{in}$ 은 각각 다음과 같이 표현된다.

$$C_{in}(1) = \frac{(1/2)\Delta\ell_{i,2n-1}}{\Delta\ell_{i,2n-1} + \Delta\ell_{i,2n}} \quad (A)$$

$$C_{in}(2) = \frac{(1/2)\Delta\ell_{i,2n} + \Delta\ell_{i,2n-1}}{\Delta\ell_{i,2n-1} + \Delta\ell_{i,2n}} \quad (A)$$

$$C_{in}(3) = \frac{(1/2)\Delta\ell_{i,2n+1} + \Delta\ell_{i,2n+2}}{\Delta\ell_{i,2n+1} + \Delta\ell_{i,2n+2}}$$

$$C_{in}(4) = \frac{(1/2)\Delta\ell_{i,2n+2}}{\Delta\ell_{i,2n+1} + \Delta\ell_{i,2n+2}}$$

$$D_{in}(1) = D_{in}(2) = \frac{1}{\Delta\ell_{i,2n-1} + \Delta\ell_{i,2n}} \quad (B)$$

$$D_{in}(3) = D_{in}(4) = \frac{-1}{\Delta\ell_{i,2n+1} + \Delta\ell_{i,2n+2}}$$

$$F_{in} = C_{in}(1) \frac{\Delta\ell_{i,2n-1}}{\Delta\ell_{i,2n-1}} + C_{in}(2) \frac{\Delta\ell_{i,2n}}{\Delta\ell_{i,2n}} + C_{in}(3) \frac{\Delta\ell_{i,2n+1}}{\Delta\ell_{i,2n+1}} + C_{in}(4) \frac{\Delta\ell_{i,2n+2}}{\Delta\ell_{i,2n+2}}$$

$$= \sum_{B=1}^4 C_{in}(B) \frac{\Delta\ell_{i,2n-2+B}}{\Delta\ell_{i,2n-2+B}} \frac{dF_{in}}{d\ell}$$

$$= D_{in}(1) + D_{in}(2) + D_{in}(3) + D_{in}(4)$$

$$= \sum_{B=1}^4 D_{in}(B) \quad (C)$$

그림 3으로부터  $W_{jm}$ ,  $(dW_{jm}/d\ell')$ ,  $W_{jm}F_{in}$ ,  $(dW_{jm}/d\ell')(dF_{in}/d\ell)$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$W_{jm} = \Delta\ell_{i,2m-1}C_{jm}(1) \frac{\Delta\ell_{i,2m-1}}{\Delta\ell_{i,2m-1}} + \ell_{i,2m}C_{jm}(2) \frac{\Delta\ell_{i,2m}}{\Delta\ell_{i,2m}} + \Delta\ell_{i,2m-1}C_{jm}(3) \frac{\Delta\ell_{i,2m+1}}{\Delta\ell_{i,2m+1}} + \Delta\ell_{i,2m+2}C_{jm}(4) \frac{\Delta\ell_{i,2m+2}}{\Delta\ell_{i,2m+2}}$$

$$= \sum_{A=1}^4 C_{jm}(A)\Delta\ell_{i,2m-2+A} \quad (D)$$

$$\frac{dW_{jm}}{d\ell'} = B_{jm}(1) + B_{jm}(2) + B_{jm}(3) + B_{jm}(4)$$

$$= \sum_{A=1}^4 D_{jm}(A)\Delta\ell_{i,2m-2+A} \quad (E)$$

$$W_{jm} \cdot F_{in} = \sum_{A=1}^4 \sum_{B=1}^4 C_{jm}(A)C_{in}(B)\Delta\ell_{i,2m-2+A}$$

$$A \cdot \Delta\ell_{i,2n-2+B} \frac{1}{\Delta\ell_{i,2n-2+B}} \quad (F)$$

$$\frac{dW_{jm}}{d\ell'} \frac{dF_{in}}{d\ell} = \sum_{A=1}^4 \sum_{B=1}^4 D_{jm}(A)D_{in}(B)\Delta\ell_{i,2m-2+A}$$

$$= \sum_{A=1}^4 \sum_{B=1}^4 D_{jm}(A)D_{in}(B)\Delta\ell_{i,2m-2+A} \frac{1}{\Delta\ell_{i,2n-2+B}} \quad (G)$$

식(10)과 위 식들로부터

$$Z_1 = \sum_{A=1}^4 \sum_{B=1}^4 C_{jm}(A)C_{in}(B)\Delta\ell_{i,2m-2+A} \Delta\ell_{i,2n-2+B} \Psi(Q_{i,2m-2+A}, Q_{i,2n-2+B}) \quad (H)$$

$$Z_2 = \sum_{A=1}^4 \sum_{B=1}^4 D_{jm}(A)D_{in}(B)\Delta\ell_{i,2m-2+A} \Delta\ell_{i,2n-2+B} \Psi(Q_{i,2m-2+A}, Q_{i,2n-2+B})$$

참 고 문 헌

- [1] R.W. Newton, Microwave remote sensing and its application to soil moisture detection. Tech. Rep. RSC-81, 1975.
- [2] A. Kraszewski, A model of the dielectric properties of wheat at 9.4 Ghz. J. microwave Power, vol 13, pp293-301, 1978.
- [3] W. Meyer, W.M.Schilz, A microwave method for density independent determination of the moisture content of solids. J.Phys. vol 13. pp1823-1819, 1980.
- [4] E.Bahar, J.D.Saylor, A feasibility study to monitor soil moisture content using microwave signals. IEEE MTT-31, No7. pp533-541, 1983.
- [5] W.Meyer, W.M.Schilz, Feasibility study of density independent moisture measurement with microwaves, IEEE MTT-29. No7, pp732-739, 1981.
- [6] M.Kent, E.Kress-Rogers, Microwave moisture and density measurements in particulate solids, IEEE MC Vol 8, No3, pp161-168, sept, 1986.
- [7] S.Nakayama, Microwave measurements of moisture content of aggregate, J.Appl. phys. Vol 33 pp2809-2810, No5A, May 1994.
- [8] R.F.Harrington, Field computation by moment method. ch2,3 Macmillan Company, N.Y. 1968.
- [9] W.L.Stutzman, G.A.Thiele, Antenna theory

and design. pp306-336, John Wiley & sons. N.Y. 1981.

[10] 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.

---

저 자 소 개

---



鄭 周 洙(正會員)

1963년 2월 3일생. 1987년 2월 경남대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1991년 2월 경남대학교 전자공학과 석사과정졸업(공학석사). 1994년 8월 경남대학교 전자공학과 박사과정수료. 1996년 3월-현

재 창원전문대 전자통신과 전임강사. 관심분야 ; 안테나 및 전자파신호처리, 무선통신, RF회로설계



周 昌 福(正會員)

1951년 10월 5일생. 1975년 2월 한국항공대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1977년 2월 고려대학교 전자공학과 석사과정졸업(공학석사). 1987년 2월 고려대학교 전자공학과 박사과정졸업(공학박사).

1981년 3월-현재 경남대학교 전자공학과 교수. 1989년 일본 상지대 전기전자공학과 연구교수. 1992년 미국 일리노이주립대학시카고교 전기전자 및 컴퓨터공학과 객원교수. 관심분야 ; 안테나 및 전자파신호처리, 무선통신, RF회로설계