

論 文

# 리액턴스 장하 공진주파수 제어 안테나에 관하여

正會員 金 基 采\* 正會員 鄭 樂 三\*

## On the Resonant Frequency Controlling Antennas Using Reactive Loading

Ki Chai KIM\*; Nak Sam CHUNG\* *Regular Members*

**要 約** 본 논문에서는 리액턴스 장하를 이용한 공진주파수 제어 안테나를 제안하고 공진주파수 제어의 개념을 명확히 하고 있다. 또한 몇 가지의 유용한 응용에 대해서도 언급하고 있다.

**ABSTRACT** In this paper, the concepts of resonant frequency control of an antennas using reactive loading are explained. Also included are some useful applications of the resonant frequency controlling antennas.

### I. 서 론

본 논문에서 제안하는 이 특이한 공진주파수 제어 안테나는 통신용 안테나 뿐만이 아니라, 목적에 따라서는 아주 넓은 범위에 걸쳐서 대단히 유용하게 사용할 수 있음을 우리는 잘 인식하

고 있다. 필자중의 한 사람은 소형안테나의 일종인 이동체 탑재용의 공동안테나 (Cavity Antenna) 를 연구하는 과정에서 안테나 입력임피던스의 제어 원리를 확립하게 되었고<sup>1)</sup>, 본 논문에서는 이와 같은 안테나의 연구에 대한 경험으로부터 공진주파수 제어 안테나의 개념을 유추하여 명확히 함과 동시에, 이러한 안테나의 응용에 관하여 몇가지의 제안을 시도하고 있다.

간단한 응용 예를 들면, 공진주파수 제어 안테나를 하이퍼써미어 (Hyperthermia) 용의 어플리케이터 (Applicator) 등의 목적에 사용하면 電波照射대상의 전기적 특성의 시간적 변화에 대한

\*韓國標準研究所  
Korea Standards Research Institute,  
Electromagnetics Laboratory.  
論文番號: 90-42(接受1990. 3. 8)

추종이 가능하다. 또한, 각종 전기전자기기로 부터 방사되는 不要電磁波의 축적용 안테나로 사용할 때에는 스펙트럼 분석기(Spectrum Analyzer)와 같은 고가의 측정장비를 구비하지 않고서도 미지전자파의 주파수를 예측할 수 있으며 전계강도까지 측정이 가능하다. 따라서, 공진 주파수 제어 안테나는 불요전자파의 계측용 안테나로서 특별히 중요한 의의가 있음을 강조하고 싶다.

본 논문에서 제안하는 공진주파수 제어 안테나는 그 크기는 사용과장에 비교하여 아주 작은 소형이며 공진주파수 제어도구는 2개의 리액턴스 소자를 이용하고 있다. 이하 「리액턴스 장하 공진주파수 제어 안테나」를 간단히 공진주파수 제어 안테나로 부르기로 한다.

## II. 입력임피던스 표시식

그림 1은 電磁流源  $\mathbf{J}$ ,  $\mathbf{M}$  및 리액턴스 소자  $jX_1$ ,  $jX_2$ 를 갖는 소형안테나를 나타내고 있다.

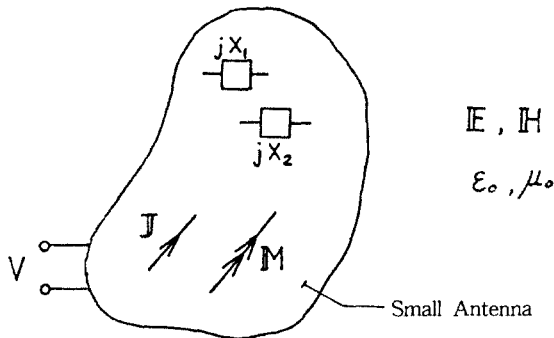


그림 1. 리액턴스가 장하된 공진주파수 제어 안테나.  
Fig. 1. Resonant frequency controlling antennas using reactive loading.

그림 1에서 전자류원  $\mathbf{J}$ ,  $\mathbf{M}$ 으로 부터 생성되는 電磁界  $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{H}$ 는

$$\begin{pmatrix} \mathbf{E} \\ \mathbf{H} \end{pmatrix} = \mathbf{g}(\mathbf{J}, \mathbf{M}) \quad (1)$$

과 같이 전자류원  $\mathbf{J}$ ,  $\mathbf{M}$ 의 함수로써,  $\mathbf{J}$ ,  $\mathbf{M}$ 을 제어하면 전자계  $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{H}$ 가 제어 되는데 일반적으로 이들 사이에는 Fourier 적분의 관계가 있다. 식(1)은 안테나의 전자류분포에 따라서 생성되는 전자계만을 표시하고 있으며, 안테나의 입력단에 대한 특성을 나타내고 있지는 않다.

그러면 여기서, 안테나의 입력단에서 정의되는 안테나의 입력임피던스를 생각해 보자. 입력임피던스  $Z_{in}$ 을 「전자계와 전자류원」과 같은 인과관계를 갖는 식(1)의 형태로 표현을 하면

$$Z_{in} = \mathbf{H}(\mathbf{J}, \mathbf{M}) \quad (2)$$

과 같이 나타낼 수 있는데, 이 경우에는 식(1)에서와 같은 Fourier 적분의 관계는 아니다.

위의 식(1)과 식(2)로부터, 전자류원의 분포를 제어하면 안테나의 입력임피던스 뿐만이 아니라 안테나의 원역장 (Far Field) 특성(방사지향성 및 편파상태)도 제어할 수 있음을 알 수 있다.

이와 같은 제어대상 즉, 입력임피던스, 원역장을 제어하기 위해서는 안테나의 전자류분포를 조절하여야 하는데, 본 논문에서는 그 제어도구로서 2개의 리액턴스 소자를 사용하고 있다. 즉 그림 1에서 처럼 리액턴스 소자  $jX_1$ ,  $jX_2$ 를 안테나의 적당한 위치에 裝荷하고 이들을 적절하게 조절함으로써 안테나에 형성되는 전자류분포를 제어하여 입력임피던스를 제어한다. 여기서, 2개의 리액턴스 소자를 사용하는 이유는 입력임피던스의 실수부와 허수부, 즉, 2개의 자유도를 용이하게 제어하기 위해서이다. 1개의 리액턴스 소자를 사용하여 입력 임피던스를 제어할 수도 있는데, 이 경우에는 리액턴스 값 및 리액턴스의 장하위치를 함께 적절히 조절하여 입력임피던스의 실수부와 허수부를 제어한다.

이와 같은 1개의 리액턴스를 이용하는 방법은 안테나의 구조등에 의하여 리액턴스를 장하할 수 있는 위치가 제한을 받게 되면 실제로 적용하기에는 많은 제약이 따르고 입력임피던스의 제어범위도 한정 되게 된다. 이에 반하여, 2개의 리액턴

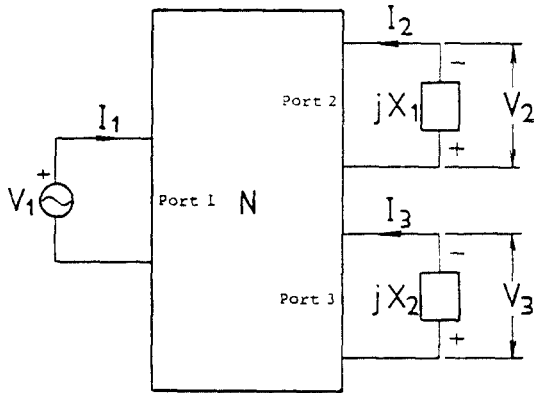


그림 2. 동가 3쌍 단자망 포오프망  
Fig. 2. Equivalent 3-port network

스 소자를 사용하면 1개의 리액턴스 소자를 사용하는 경우보다 용이하게 입력임피던스를 제어할 수 있는데 이는 전송선로 이론에서의 이중스텝 정합방법과 유사한 관점에서 쉽게 이해 할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 입력 임피던스의 용이한 제어를 위하여 2개의 리액턴스 소자를 사용하고 있다.

이상에서 살펴본 입력임피던스의 제어에 관한 내용을 좀 더 구체적으로 고찰하여, 안테나의 공진주파수가 제어 가능한 원리를 유추하는데 기본이 되는 입력임피던스의 표시식을 도출하도록 한다.

그림1과 같은 소형안테나에서 안테나의 급전점과 리액턴스가 접속된 장하점에 주목하면 그림2와 같은 3 차단자망으로 표현할 수 있다. 여기서,  $V_1, V_2, V_3$  및  $I_1, I_2, I_3$ 를 각각 포오프 1, 포오프 2, 포오프 3의 전압 및 전류라 하면 각 포오프의 전압 및 전류의 관계는 어드미턴스 또는 임피던스 파라미터를 사용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & y_{13} \\ y_{21} & y_{22} & y_{23} \\ y_{31} & y_{32} & y_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix} \quad (4)$$

그리고, 리액턴스  $jX_1, jX_2$ 가 접속되어 있는 부하 포오프 2, 3에는 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$\left. \begin{aligned} I_2 &= -\frac{1}{jX_1} V_2 \\ I_3 &= -\frac{1}{jX_2} V_3 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} V_2 &= -jX_1 I_2 \\ V_3 &= -jX_2 I_3 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

부하단의 조건식(5), (6)을 식(3), (4)에 대입하면 안테나의 입력임피던스  $Z_{in}$ 은 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$Z_{in}^{-1} = y_{11} + y_{12} \frac{V_2}{V_1} + y_{13} \frac{V_3}{V_1} \quad (7)$$

$$Z_{in} = Z_{11} + Z_{12} \frac{I_2}{I_1} + Z_{13} \frac{I_3}{I_1} \quad (8)$$

식(7), (8)에서 포오프 전압비 및 포오프 전류비는 식(5), (6)을 식(3), (4)에 대입하여 쉽게 구할 수 있다.

### Ⅲ. 입력임피던스 제어법

급전선로의 특성임피던스를  $R_0$ 라 하면 안테나의 급전점에서 완전정합을 얻기 위한 정합조건은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} \text{Re}[Z_{in}(jX_1, jX_2, \left(\frac{y_{1j}}{Z_{1j}}\right))] &= R_0 \\ \text{Im}[Z_{in}(jX_1, jX_2, \left(\frac{y_{1j}}{Z_{1j}}\right))] &= 0 \quad i, j=1, 2, 3 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

단,  $R_e$ 는 실수부를,  $I_m$ 은 허수부를 나타낸다.

완전정합 조건식(9)는 2개의 미지수를 갖는 연립방정식이고 그 해로서 2개의 미지 리액턴스 값  $X_1$ ,  $X_2$ 가 결정된다. 완전정합 조건식(9)을 정리하면 식(9)를 만족하는 리액턴스의 결정관계식은

$$x_i = f \{ x_2, \left( \frac{y_{ij}}{Z_{ij}} \right), R_0 \} \quad (10)$$

인 형태로 표현할 수 있으며<sup>(9)</sup>, 어드미턴스 및 임피던스 파라미터  $y_{ij}$  및  $Z_{ij}$  ( $i, j=1, 2, 3$ )는 안테나의 구조와 사용주파수 (공진주파수)가 주어지면 결정된다. 식(10)의 우변이 복소수임을 고려하면 결정관계식 (10)을 만족하는  $X_1$ ,  $X_2$ 의 값은 2종류 존재하며 그 물리적 의미에 대해서는 참고문헌 (1)을 참고하기 바란다. 즉, 입력임피던스는  $X_1$ ,  $X_2$ 를 조절하여 2가지의 형태로 제어할 수 있다.

#### IV. 공진주파수 제어법

앞장의 입력임피던스 제어법에 의하면, 특정주파수에서 리액턴스값  $X_1$ ,  $X_2$ 를 조절하여 급전선로의 특성임피던스에 정합시킬 수 있다는 것을 알았다. 이러한 결론에 대하여 관점을 바꾸어 생각해 보면, 급전선로의 특성임피던스  $R_0$ 를 고정하고 리액턴스값  $X_1$ ,  $X_2$ 를 적절히 조정하면 공진주파수  $f_0$ 가 결정된다는 것을 알 수 있다. 이 관계를 식(10)으로 부터 구할 수 있는데, 그 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림 3은 식(10)으로 부터 구해지는  $f_0, X_1, X_2$ 의 관계를 나타내는 일반형태 (General Form)인데, 특정 안테나를 상정하여 식(10)을 계산하면 실제적으로 그림3과 같은 형태의 그래프가 얻어지는 것을 확인할 수 있다.

그림3에서  $x_1, x_2$  대신에  $l_1, l_2$ 로 표시한 것은 구체적으로 리액턴스 소자를 선로길이  $l_1$  ( $j=1$  or  $2$ )인 종단단락의 평행2선 선로로 구성하는

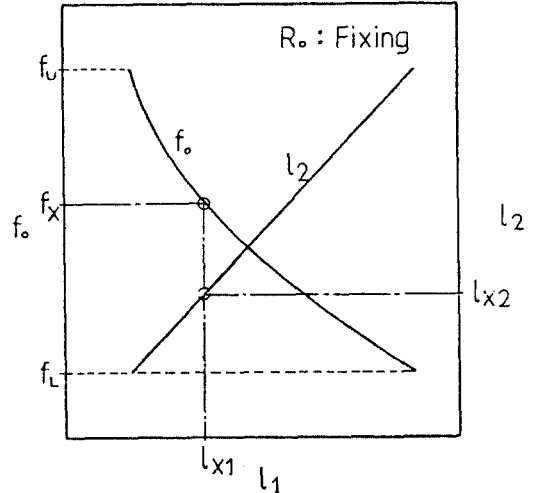


그림 3. 공진주파수와 장하 리액턴스와의 관계 ( $X_i = Z_0 \tan(kl_i)$ ,  $i=1,2$ ).

Fig. 3. Relationship between resonant frequency and loaded reactances ( $X_i = Z_0 \tan(kl_i)$ ,  $i=1,2$ )

것이 현실적이기 때문이며 측정에 있어서도 길이를 측정하는 것이 편리하기 때문이다. 즉, 선로의 길이와 리액턴스값과의 사이에는  $X_i = Z_0 \tan(kl_i)$  ( $i=1$  or  $2$ ,  $Z_0$ : 선로의 특성임피던스,  $k$ : 선로의 파수)인 관계가 있다. 또한, 그림3에서는 설명을 간단히 하기 위하여 앞장 III에서 언급한 2종류의 해 중에서 하나만을 나타내었다.

그림3에서 알 수 있는 것과 같이  $l_1$ 이 정해지면 공진주파수  $f_0$ 에서 정합이 취해지는  $l_2$ 의 값이 결정된다. 예를 들어  $l_1$ 을  $lx_1$ ,  $l_2$ 를  $lx_2$ 로 선택한다고 하면 공진주파수는  $f_x$ 가 됨을 그림3으로 부터

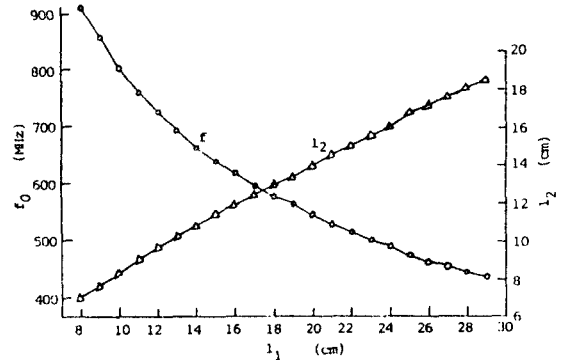


그림 4. 하이퍼써미어용의 어플리케이션  
Fig. 4. Applicator for hyperthermia.

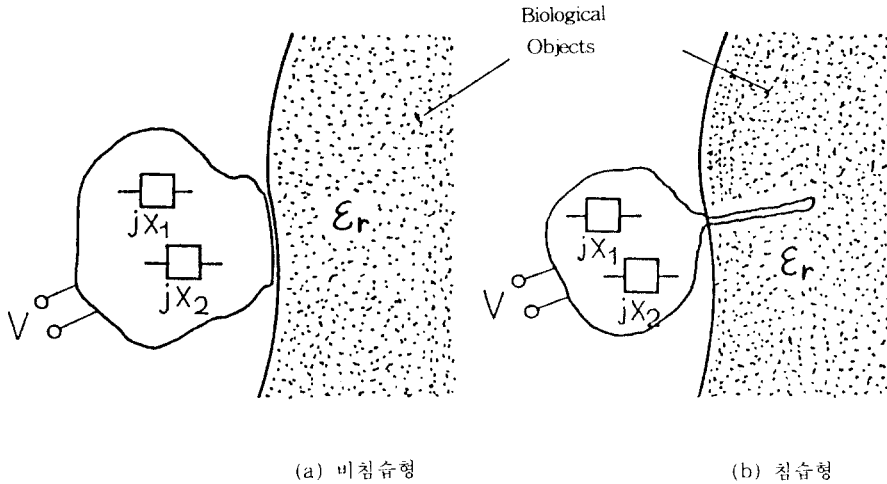


그림 5. 하이퍼써미어용의 어플리케이터  
Fig. 5 Applicator for hyperthermia

알 수 있으며, 공진주파수의 범위 ( $f_u - f_L$ )는 안테나의 구조와 리액턴스 장하의 위치에 의하여 결정된다.

이상에서와 같이  $l_1$ (즉  $X_1$ )과  $l_2$ (즉  $X_2$ )의 값을 적절히 조정하면 공진주파수  $f_0$ 를 제어할 수 있다는 것을 알 수 있다 (참고문헌(1)의 안테나에 대한 그림4의 실험에 참조).

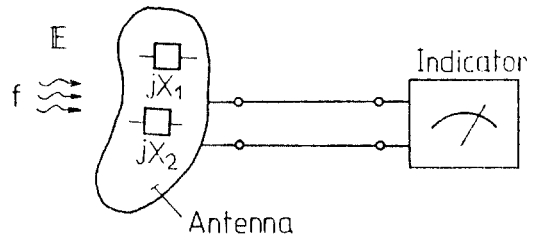


그림 6. 미지 전자파의 주파수 및 전기장도 측정  
Fig. 6 Measurements of unknown frequency and electric field strength.

## V. 응용에 관한 제안

### 1. 하이퍼써미어용의 어플리케이터

그림5는 인체와 어플리케이터와의 접촉관계를 나타내고 있다. 인체는 시간과 함께 인체의 상태가 변화하고 어플리케이터는 항상 인체의 변화상태에 대응하여 최적의 상태로 조절되어야 한다. 이러한 경우에는 앞장의 III에서 살펴본 입력임피던스 제어 안테나가 하이퍼써미어용의 어플리케이터로서 대단히 유용하다고 생각한다.

### 2. 未知電磁波의 주파수와 전기장도 측정용 안테나

미지전자파의 주파수를 예측하고자 할 때에는

공진주파수 제어 안테나에 대한 그림3의 그래프를 보유하고 있으면 가능하다. 즉 그림6에서  $X_1$ (또는  $l_1$ ),  $X_2$ (또는  $l_2$ )의 값을 조절하여 지시기의 지시치가 최대가 되는 때의  $X_1$ ,  $X_2$ 의 값을 알면 그림3으로 부터 미지전자파의 주파수를 알 수 있다.

전기장도를 측정하고자 할 때에는 그림3의 그래프와 공진주파수 제어 안테나의 실효길이 (Effective Length)를 알고 있으면 가능하다.

즉, E를 안테나 급전단자에 도래하는 도래전계,  $V_0$ 를 수신개방전압 이라고 하면 실효길이  $l_e$ 와는 잘 알려져 있는 다음과 같은 관계가 있다.

$$E = \frac{V_0}{l_e} \quad (11)$$

$l_e$ 는 송신상태에 있는 안테나의 전류분포로부터 결정되는데, 공진주파수 제어 안테나의 구체적인 구조가 결정되면 용이하게 구할 수 있다.

편파면이 안테나와 동일한 평면상에 있고, 전파의 도래방향이  $\theta$ 인 때의 수신개방전압을  $V_\theta$ 라 하면 안테나의 지향성 계수  $D(\theta)$ 를 고려하여

$$E = \frac{V_\theta}{l_e D(\theta)} \quad (12)$$

로부터 전계강도를 산출할 수 있는데 소형안테나인 경우  $D(\theta) \approx 1$ 을 실현시킬 수 있다.

이와 같이, 공진주파수 제어 안테나의  $l_e$ 와 그림3의 관계로부터 스펙트럼 분석기와 같은 고가의 측정장비를 갖추지 않더라도 간단히 미지 전자파의 주파수와 전계강도를 측정할 수 있다.

### 3. 방사성 방출잡음 측정용 안테나

각종 전기전자기기로부터 방출되는 不要電磁波인 방사성 방출잡음 측정용 안테나로서는 최적 동작을 하도록 안테나 소자가 주파수의 변화에 대응하여 자동적으로 선택되어 지향성이나 임피던스가 크게 변화하지 않도록 연구된 대수주기 안테나(Log-Periodic Antenna) 또는 바이코니칼 안테나(Biconical Antenna)가 널리 사용되고 있다. 즉, 잡음측정용 안테나는 임피던스 대역폭 및 지향성 대역폭 모두가 양호하여야만 광대역에 걸친 방출잡음의 측정에 위력을 발휘한다. 위에서 열거한 안테나와는 광대역화의 수법이 다른 것으로서, 소형 Dipole 안테나에 본 논문에서 제안하는 공진주파수 제어의 기능을 갖춘 공진주파수 제어 안테나를 잡음측정용의 안테나로 사용할 수 있는데, 이 경우에는 그림3의 관계를 나타내는 그래프와 설계한 안테나의 실효길이를 이용하여  $f_L$ 과  $f_U$ 의 범위에 걸쳐서 방출되는 잡음을

$f_1$ 과  $f_2$ 를 주사(Sweep)함으로써 측정할 수 있을 것이라고 생각한다.

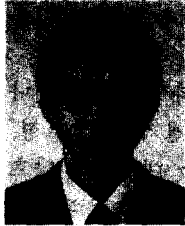
본 논문에서 제안하는 공진주파수 제어 안테나는 안테나의 크기를 소형화(전기적인 소형, Electrically Small)하면 임피던스 대역폭을 양호하게 할 수 있으며, 또한 선택도도 향상 되므로 방사성 방출잡음의 측정용 안테나로서 유용하다고 생각한다. 본 안테나는 리액턴스 장하의 수법을 이용한 광대역화의 수법이라고 할 수 있으나, 안테나 그 자체의 입력임피던스 특성이 광대역화 되는 것은 아니고, 장하 리액턴스와 공진주파수의 관계를 교묘하게 이용한 광대역화의 수법이라고 할 수 있다.

## VI. 결 론

리액턴스 소자를 이용한 공진주파수 제어 안테나를 제안하고 안테나의 입력 임피던스 제어의 원리로 부터 공진주파수 제어의 개념을 명확히 하였다. 또한 공진주파수 제어 안테나의 응용에 관하여 몇가지의 제안을 시도하였다. 본 안테나는 넓은 범위에 걸쳐서 유용하게 응용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 參 考 文 獻

1. 金基采, 德丸 仁, “共振ホ<sup>°</sup>ストを特つカツトオフ空胴アンテナ”, 日本電子情報通信學會論文誌(B), J70-B, 10, pp. 1217~1228, 1987年 10月.
2. R. F. Harrington and J. R. Mautz, “Straight Wires with Arbitrary Excitation and Loading”, IEEE Trans. Antenna and Propagation, vol. AP-15, No.4, July 1967.



金基采(Ki Chai KIM) 正會員  
1959年10月19日生  
1984年：嶺南大學校 電子工學科 卒業  
1986年：日本慶應大學 大學院 電氣工學  
科 工學碩士  
1989年：日本慶應大學 大學院 電氣工學  
科 工學博士  
1989年～現在：韓國標準研究所電磁波研  
究室 先任研究員

• 主關心分野：電磁波 및 안테나理論, 逆問題



鄭樂三(Nak Sam CHUNG) 正會員  
1939年4月22日生  
1967年：서울大學校 文理大 物理學科卒  
業  
1973年：美國Purdue大學 大學院 物理  
學科 理學博士 同大學 研究員  
1976年～1978年：美國 國立標準局(NB  
S) 客員研究員  
1986年～1987年：美國 STX. Senior  
Scientist.

1978年～現在：韓國標準研究所 責任研究員, 電氣研究部長

• 主關心分野：時間周波數 및 電磁波標準