

工學碩士 學位論文

해상용 Sonobuoy Transmitting  
Antenna 시스템 측정에 관한 연구

A Study on Measurement of Marine Sonobuoy  
Transmitting Antenna System

指導教授 閔 庚 植

2004年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電 波 工 學 科

林 敬 佑

## Abstract

The sonobuoy transmitting antenna system has been used for anti-submarine warfare. This system is composed of the transmitting antenna, the RF transmitting circuit, the converting circuit sound source into VHF radio frequency and the hydrophone sensor system for receiving of a sound source generated by a submarine. In this thesis a  $\lambda/4$  vertical ground plane one as a sonobuoy transmitting antenna is considered and measured at anechoic chamber. A purpose of the  $\lambda/4$  vertical ground plane transmitting antenna system is to transmit from the location information of a sound source generated by the submarine to the receiving antenna system mounted on the ship or the airplane. A received ultrasonic wave is converted to RF signal. The frequency range assigned for this system is 136 MHz to 173.5 MHz. In addition, the measured spurious radiation of sonobuoy transmitting antenna system is compared with a military specification(MIL Spec.) results.

In this thesis, the measured results of sonobuoy antenna with impedance matching circuit is described at VHF band. This antenna is used as sonobuoy transmitting antenna for the naval air systems. Since radiation pattern and power density depend on impedance matching between transmitting RF part and antenna with termination resistance, design of matching circuit is very important. Matching circuit is designed by smith chart using the optimum values of  $L$  and  $C$ . In SWR measured by network analyzer, SWR of antenna with matching circuit observed 1.5 below at the assigned VHF band. It shows very excellent performance comparison with conversional product that is used for the same object. The measured azimuth/elevation radiation patterns and the spurious radiation characteristics are also shown the satisfaction of military specification.

- 목 차 -

|  |    |
|--|----|
| Abstract .....                               | i  |
| 제 1 장 서론 .....                               | 1  |
| 1.1 연구의 배경 .....                             | 1  |
| 1.2 연구의 내용 및 범위 .....                        | 3  |
| 제 2 장 전파암실에서의 측정 .....                       | 4  |
| 2.1 안테나의 측정 .....                            | 4  |
| 2.1.1 접지 안테나의 복사이론 .....                     | 4  |
| 2.1.2 $\lambda/4$ 수직접지 안테나의 복사전계 .....       | 5  |
| 2.1.3 $\lambda/4$ 수직접지 안테나의 복사전력과 복사저항 ..... | 6  |
| 2.2 측정 시스템의 구성 .....                         | 8  |
| 2.2.1 전파암실의 측정 시스템 구축 .....                  | 8  |
| 2.2.2 Sonobuoy 안테나의 측정환경 .....               | 9  |
| 2.3 안테나 방사패턴 프로그램 .....                      | 11 |
| 제 3 장 Sonobuoy 안테나의 측정 .....                 | 13 |
| 3.1 Sonobuoy 안테나의 개요 .....                   | 13 |
| 3.2 Sonobuoy 안테나의 설계 .....                   | 14 |
| 3.3 Sonobuoy 안테나의 측정 .....                   | 15 |
| 제 4 장 Sonobuoy 안테나의 임피던스 정합 .....            | 16 |
| 4.1 Sonobuoy 안테나와 동축케이블간 임피던스 정합 .....       | 16 |
| 4.1.1 임피던스 정합회로 이론 .....                     | 16 |
| 4.1.2 임피던스 정합회로 계산 .....                     | 19 |
| 4.2 Sonobuoy 안테나와 송신기간 임피던스 정합 .....         | 21 |
| 4.2.1 Sonobuoy 안테나와 송신기간의 정합회로 추가 .....      | 21 |
| 제 5 장 실험결과 .....                             | 22 |
| 5.1 동축케이블과 안테나간 임피던스 정합회로 실험결과 .....         | 22 |
| 5.1.1 임피던스 정합회로를 추가하지 않았을 때의 결과 .....        | 22 |
| 5.1.2 임피던스 정합회로를 추가했을 때의 결과 .....            | 24 |
| 5.2 Sonobuoy 안테나의 방사패턴 측정 .....              | 26 |

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 5.3 송신기의 Spurious 방사 측정 ..... | 30 |
| 제 6 장 결 론 .....               | 32 |
| 참고문헌 .....                    | 33 |
| 본 연구와 관련된 발표 논문 .....         | 34 |

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구의 배경

최근 정보화의 발달로 인하여 무선시스템 이용자가 폭발적으로 증가하고 있다. 이러한 추세에 따라 많은 무선시스템 이용자의 요구를 충족시키기 위한 이동통신용 안테나 기술 연구는 반드시 필요하다. 안테나의 기술 개발도 중요하지만 안테나의 성능을 정확히 측정 하기 위한 설비 및 시스템 구축에도 관심을 기울여야 한다. 따라서, 본 논문에서는 sonobuoy 송신 안테나 시스템에 사용되는 안테나를 측정하기 위한 시스템 구축과 안테나의 임피던스 정합회로를 제안한다.

기존의 sonobuoy 안테나 시스템은 몇 가지 문제점을 가지고 있는데 sonobuoy 내부의 안테나와 송신기간의 부정합으로 인하여 안테나단의 저항부분에서 열이 발생하고, 안테나의 null point가 90°에 맞지 않은 단점을 가지고 있다.

따라서, 본 논문에서는 이를 해결하여 기존의 sonobuoy 송신 안테나 시스템을 MIL Spec.(Military Specification)과 비교·측정하여 기존의 문제점을 해결하는 것에 목표를 두고 있다.

본 논문의 전체 구성을 살펴보면 서론과 결론을 제외한 4개의 장으로 구성되어 있다. 먼저, 2장에서는 안테나에 대한 이론과 전파암실에서 안테나를 측정하기 위한 측정 시스템, 안테나 방사패턴 프로그램을 설명하고, 3장에서는 sonobuoy 안테나의 개요와 설계 및 측정에 대해서 설명하고, 4장에서는 sonobuoy 안테나와 동축케이블간 임피던스 정합, sonobuoy 안테나와 송신기사이의 임피던스 정합회로를 설계하였다. 5장에서는 동축케이블과 안테나간 임피던스 정합회로 실험결과, 안테나와 송신기사이의 임피던스 정합회로를 추가했을 때의 결과, 기존의 외국제품 안테나와 제작된 안테나의 방사패턴을 보이고 이를 MIL Spec.과 비교한 결과를 기술하였고, 송신기의 spurious 방사 측정결과를 MIL Spec.과 비교한 내용을 기술하였다.

측정결과를 종합해보면 임피던스 정합회로를 추가하였을 때 안테나의 저항부분에서 열이 발생하고, 임피던스 부정합 문제를 해결할 수 있었고,

안테나의 방사패턴 역시 기존 외국 안테나보다 제작된 안테나의 방사패턴이 양호함을 확인할 수 있었고, 기존의 외국제품과 비교해도 충분히 대응할 수 있을 것으로 생각된다.

## 1.2 연구의 내용 및 범위

Sonobuoy 안테나를 측정하고 시스템의 특성을 분석하기 위하여, 이 시스템의 측정 및 평가에 사용하게 될 VHF대에 적합한 측정시스템을 전파암실에 만들고 측정에 필요한 각종 계측기와 송수신안테나 사이의 신호 데이터를 이용한 방사패턴 측정, 임피던스 정합회로를 제작하는 것을 연구의 내용 및 범위로 하였다. 구체적으로는 MIL Spec.에서 정하고 있는 안테나 시스템의 수직편파와 수평편파의 특성에 대한 측정·평가, sonobuoy 송신기의 spurious 방사 특성을 측정하였다.

연구진행 방법으로는 전파암실에서 측정하고자 하는 안테나의 패턴을 그래픽으로 구현하는 프로그램을 개발하여 측정안테나로부터 받아들인 정보를 이용하여 안테나의 성능을 분석·평가한다. 이 정보를 프로그램화하여 정확도 및 정밀도를 확보하고, 반복 실험을 통한 Sonobuoy transmitting antenna 시스템의 성능을 확인한다.

## 제 2 장 전파암실에서의 측정

### 2.1 안테나의 측정

#### 2.1.1 접지 안테나의 복사이론

그림 2.1과 같이 지상에 수직인 도체를 세우고 하단에서 고주파전력을 공급하는 형태의 안테나를 접지 안테나 또는 수직접지 안테나라고 한다. 도체의 길이  $l$ 은 유한하고 선단이 개방되어 있으므로 하단에서 공급된 고주파전류는 선단에서 반사되어 되돌아오게 되어 도체상에는 정재파가 발생되며,  $l = \lambda/4$ 인 경우 그림과 같은 전류·전압의 분포를 나타내게 된다[1][2].

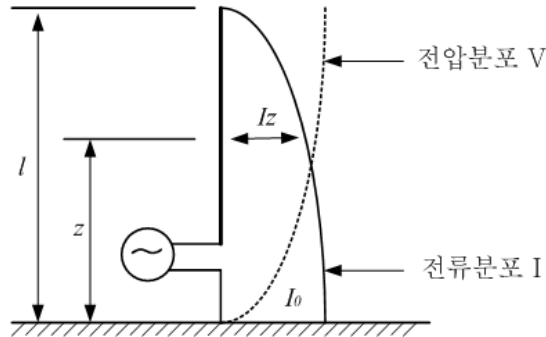


그림 2.1 접지 안테나의 전류와 전압분포( $l = \lambda/4$ )

Fig. 2.1 Current and voltage distribution of ground antenna( $l = \lambda/4$ ).

그림 2.1에 보인 바와 같이  $l = \lambda/4$ 인 접지 안테나의 전압, 전류 분포는 도체의 높이에 따라 다르므로 도선상의 전압, 전류 분포가 정현파의 분포로 되어 있다면 대지를 기준점으로 한 도체상의 전류 분포는 다음과 같다.

$$A(z) = \frac{I_0}{\sin \beta l} \sin \beta(l - z) \quad (2.1)$$



식2.1에  $l = \lambda/4$ ,  $\beta = 2\pi/\lambda$ 를 대입한 경우이므로

$$I(z) = I_0 \cos \frac{2\pi}{\lambda} z \quad [\text{A}] \quad (2.2)$$

이 되고, 전압의 경우는

$$V(z) = V_0 \sin \frac{2\pi}{\lambda} z \quad [\text{V}] \quad (2.3)$$

가 된다. 여기서  $I_0$ 는 급전점의 전류,  $V_0$ 는 선단에서의 전압이다.

### 2.1.2 $\lambda/4$ 수직접지 안테나의 복사전계

그림 2.2와 같은 수직접지 안테나에서 도체의 길이  $l = \lambda/4$ 인 경우의 안테나를  $\lambda/4$  수직접지 안테나라고 하며 이것은 접지 안테나의 대표적인 것이다. 이 안테나에 의한 원거리의 점  $P$ 에서의 전계는 안테나에서 직접  $P$ 점에 도달하는 것과 대지에서 반사되어  $P$ 점에 도달하는 것을 고려하여야 한다.

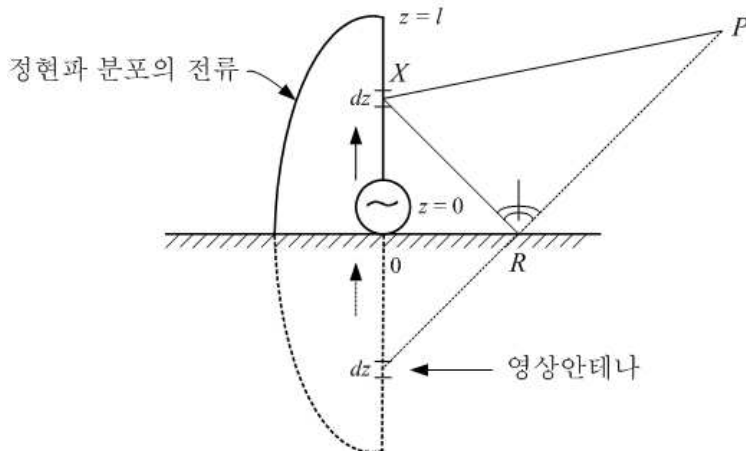


그림 2.2 접지 안테나의 복사

Fig. 2.2 Radiation of ground antenna.

그림 2.2와 같이 대지를 완전도체로 고려하면 전기영상의 원리에 의하여 영상 안테나를 고려할 수 있으며, 대지반사파는 이 영상 안테나에서 복사된 것으로 생각할 수 있으므로 최대복사방향의 전계강도는 식 2.4와 같이 된다.

$$E = 60 \frac{I_0}{R} \text{ [V/m]} \quad (2.4)$$

### 2.1.3 $\lambda/4$ 수직접지 안테나의 복사전력과 복사저항

$\lambda/4$  수직접지 안테나에서 복사되는 전 복사전력  $P_r$ 은 영상 안테나 부분에서는 실제의 전력이 복사되는 것이 아니라는 점을 고려하여 반파장 다이폴안테나에서 복사전력을 구하는 과정에서 반구(半球)에 대한 적분을 취하면 구할 수 있다[3].

$$\begin{aligned} P_r &= \oint \oint \tilde{\mathbf{j}} \cdot d\mathbf{s} = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \tilde{\mathbf{j}} \cdot R^2 \sin \theta \, d\theta \, d\phi \\ &= \frac{R^2}{120\pi} \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^\pi \left\{ 60I_0 \frac{1}{R} \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta} \right\}^2 \sin \theta \, d\theta \\ &= 30I_0^2 \cdot 2 \int_0^\pi \frac{\cos^2\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta} \, d\theta \\ &\doteq 73.13 I_0^2 \text{ [W]} \end{aligned} \quad (2.5)$$

즉, 식 2.6과 같이 식 2.5의 1/2에 해당된다.

$$P_r \doteq 36.56 I_0^2 \text{ [W]} \quad (2.6)$$

가 된다.

전력과 전류의 관계식과 식 2.6에서  $\lambda/4$  수직접지 안테나의 복사저항은  $36.56[\Omega]$ 이 되고, 최대복사전계와 복사전력과의 관계는

$$E = \frac{60I_0}{R} = \frac{9.8\sqrt{P_r}}{R} \quad (2.7)$$

이 된다.

그림 2.3에  $\lambda/4$  수직접지 안테나의 지향성을 보인다. 좌측 그림은 측면에서 안테나를 바라보았을 때의 지향성을 보이고, 우측 그림은 안테나를 위에서 내려다보았을 때의 지향성을 보인다.

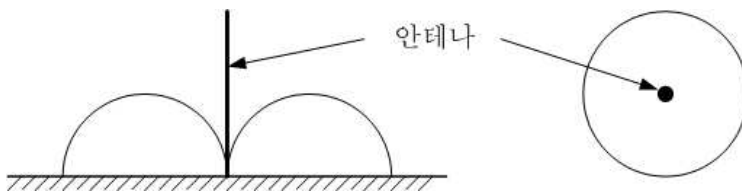


그림 2.3  $\lambda/4$  수직접지 안테나의 수직면내 및 수평면내 지향성

Fig. 2.3 Vertical and horizontal directivity of  $\lambda/4$  vertical ground antenna.

## 2.2 측정 시스템의 구성

### 2.2.1 전파암실의 측정 시스템 구축

그림 2.4는 전파암실에서 안테나의 이득 및 복사패턴을 측정하기 위한 실험환경 구축을 보이고 있다. 수신안테나는 M/W receiver와 주파수 컨버터, 신호발생기, 그리고 PC에 연결되어 있다. 송신안테나는 polarization positioner에 안테나를 장착하고, SG(Signal Generator), 방향성결합기를 통해 연결하였다.

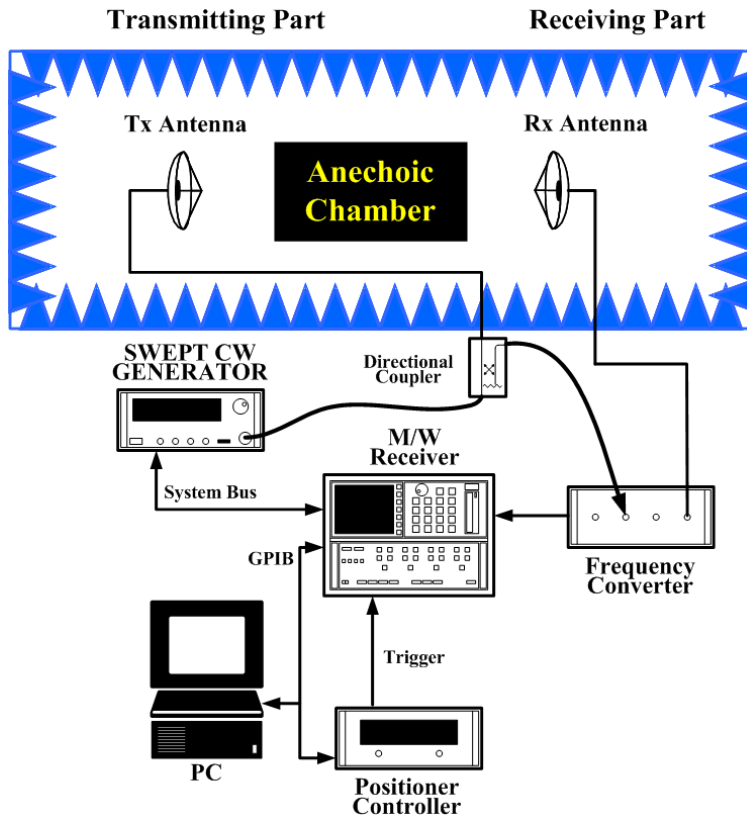


그림 2.4 안테나 측정 시스템의 실험환경

Fig. 2.4 Experimental environment of antenna measurement system.

## 2.2.2 Sonobuoy 안테나의 측정환경

VHF 주파수대역에서 사용되는 안테나의 복사패턴을 전파암실에서 측정하기 위해서는 대형의 전파암실이 필요하다. 그 이유는 원방계(Far Field)에서 복사패턴을 측정하게 되므로 원방계에 적합한 암실의 크기가 요구된다.

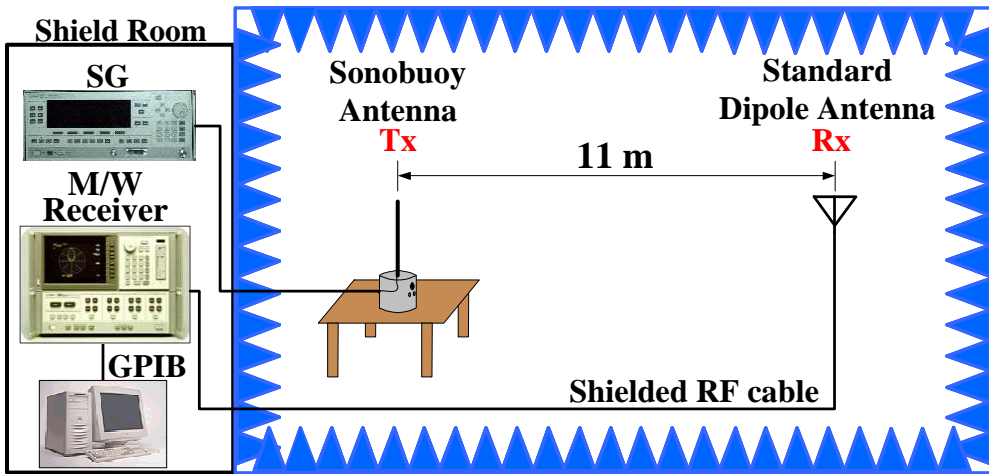


그림 2.5 전파암실에서 sonobuoy antenna 측정을 위한 구성도

Fig. 2.5 Configuration for sonobuoy antenna measurement at anechoic chamber.

아래의 식은 원방계를 만족시키는 송수신 안테나간의 거리를 나타내는 식으로 암실의 크기, 즉 송수신안테나사이의 거리는 안테나의 크기와 사용주파수에 의존한다.

$$R \geq \frac{2 \times D^2}{\lambda} \quad (2.8)$$

여기서  $R$ 은 송수신안테나간의 거리,  $D$ 는 안테나의 표면적,  $\lambda$ 는 파장에 해당된다. 따라서 이 식을 이용하여 본 측정에 필요한 전파암실내의

송수신안테나간 거리를 136 MHz, 154 MHz, 173.5 MHz 세 주파수에 대해 정리해 보면 아래 표와 같다.

표 2.1 수신안테나 표면적과 송수신안테나간 거리

Table 2.1 Rx antenna surface area, distance between Tx and Rx antenna.

|                   |                     |                     |                     |
|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 주파수( $f$ )        | 136 MHz             | 154 MHz             | 173.5 MHz           |
| 파장( $\lambda$ )   | 2.2 m               | 1.948 m             | 1.73 m              |
| 수신안테나 표면적( $D$ )  | 3.47 m <sup>2</sup> | 3.08 m <sup>2</sup> | 2.73 m <sup>2</sup> |
| 송수신안테나간 거리( $R$ ) | 10.95 m             | 9.74 m              | 8.64 m              |

## 2.3 안테나 방사패턴 프로그램

측정된 안테나의 방사패턴을 보다 손쉽게 볼 수 있도록 하기 위하여 Visual Basic 6.0 소프트웨어를 이용하여 프로그램을 만들었다[4][5]. 제작된 프로그램은 안테나의 azimuth 방향으로의 방사패턴과 elevation 방향으로의 방사패턴을 모두 볼 수 있도록 제작되었고, GPIB(General Purpose Interface Bus)를 이용하여 자동적으로 측정할 수 있도록 하였다.

그림 2.6에 azimuth 방향으로 측정된 방사패턴의 측정 화면을 보인다. 시작각도는 0°이고, 종료각도는 350°이며, 1°마다 데이터를 읽어들이도록 하고 있다.

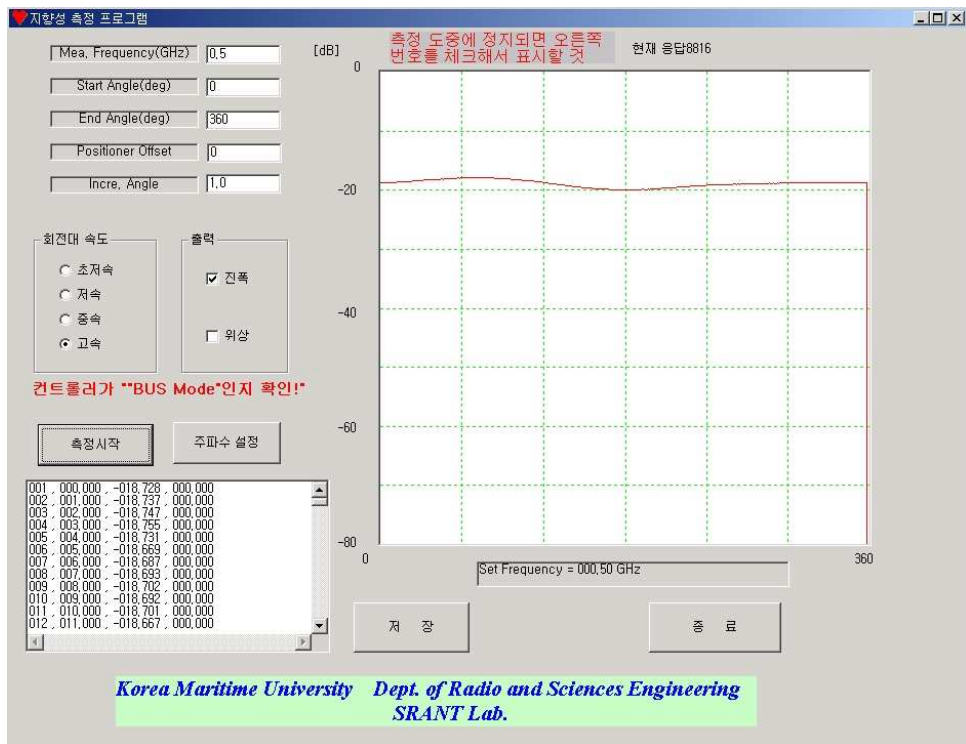


그림 2.6 Azimuth 방향으로의 방사패턴 측정

Fig. 2.6 Radiation pattern measurement of azimuth.

그림 2.7에 elevation 방향으로 측정된 방사패턴의 측정 화면을 보인다. 시작각도는 0°이고, 종료각도는 350°이며, 1°마다 데이터를 읽어들이도록 하고 있다.

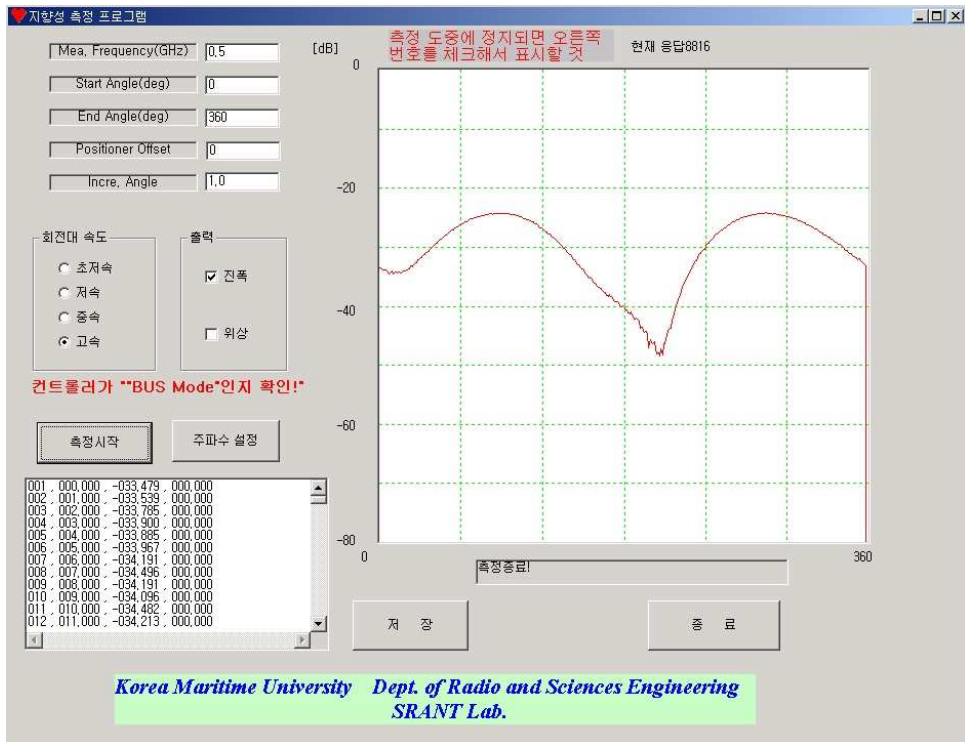


그림 2.7 Elevation 방향으로의 방사패턴 측정  
 Fig. 2.7 Radiation pattern measurement of elevation.



## 제 3 장 Sonobuoy 안테나의 측정

### 3.1 Sonobuoy 안테나의 개요

Sonobuoy는 음파에 의해 수중목표의 방위 및 거리를 탐지해 내는 장비를 의미하며 음향탐지장비 혹은 음탐기(音探機)로도 불린다. Sonobuoy는 탐지 방법에 따라 상대방이 내는 소리를 듣고 물체의 방위와 특성을 파악하는 수신용 수동 sonobuoy와 상대방의 소음을 듣는 것은 물론 스스로도 음파를 내 보내 상대방에게 부딪혀 돌아오는 음파를 다시 잡아 방위와 특성 및 거리까지 파악할 수 있는 송수신용 능동 sonobuoy로 구분할 수 있다. 본 연구에서 사용된 sonobuoy는 중계용 sonobuoy라 할 수 있으며, 그림에서처럼 항공기에서 잠수함의 위치를 정확히 파악하기 위해 항공기에서 해상으로 여러 개의 sonobuoy를 투하하여 수중으로부터의 음파를 추적하여 잠수함의 위치를 파악하는 것이다. 이를 위해서 sonobuoy는 수신한 초음파를 RF신호로 변환하여 항공기에 정보를 송신하게 되며, 이때 사용되는 송신주파수는 MIL Spec.에서 정한 VHF대를 사용하게 된다.

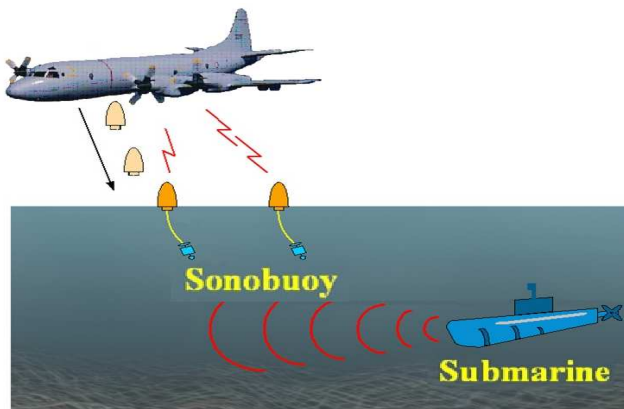


그림 3.1 해상에서 사용되는 sonobuoy 시스템의 개념

Fig. 3.1 Concept of sonobuoy system on maritime.

### 3.2 Sonobuoy 안테나의 설계

Sonobuoy 안테나의 효율을 높이기 위하여 안테나와 송신기 사이의 임피던스 정합 회로를 설계하였다. 정합회로는 안테나와 동축케이블 사이, 동축케이블과 송신기(PCB) 사이에 2개의 회로를 추가하였다. 2개의 정합 회로를 추가한 이유는 송신기와 동축케이블(Coaxial Cable)단에서 안테나로 바라보는 임피던스가 서로 다르기 때문이다[6].

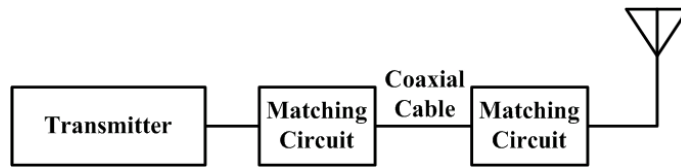


그림 3.2 송신기와 안테나 사이의 임피던스 정합회로 블록도

Fig. 3.2 Block diagram with impedance matching circuit between transmitter and antenna.

그림 3.3에 제작된 sonobuoy 안테나의 구조를 보이고 있다. 안테나의 길이는 460 mm이고, 인덕터(L)와 커패시터(C)를 이용한 L정합법을 이용하였다[7][8].

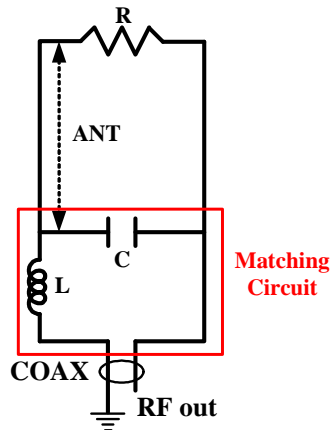


그림 3.3 제작된 Sonobuoy 안테나 구조

Fig. 3.3 Structure of fabricated sonobuoy antenna.

### 3.3 Sonobuoy 안테나의 측정

그림 3.4에 sonobuoy 안테나의 측정 환경을 보인다. Sonobuoy 안테나에 SG(Signal Generator)를 연결하였고,  $\lambda/2$  다이폴 안테나에는 8530A M/W receiver를 연결하여 수신된 신호의 최대값을 측정할 수 있도록 구성하였다.

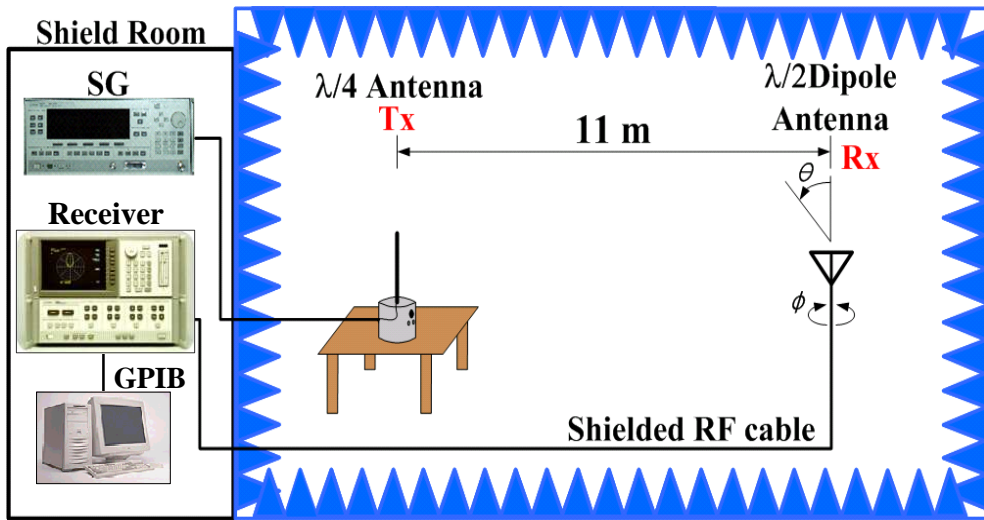


그림 3.4 Sonobuoy 안테나의 측정환경

Fig. 3.4 Measurement environment of sonobuoy antenna.

## 제 4 장 Sonobuoy 안테나의 임피던스 정합

### 4.1 Sonobuoy 안테나와 동축케이블간 임피던스 정합

#### 4.1.1 임피던스 정합회로 이론

급전선에 의해 안테나에 공급되는 전력은 최대가 되는 것이 이상적이므로 안테나의 급전점 임피던스는 급전선의 특성임피던스와 같아야 된다. 그러나 급전선의 임피던스는 급전선의 구조에 따라 그 값이 다르기 때문에 대부분의 경우 급전선과 안테나 사이에 정합회로를 설치하여 정합을 취해야 한다[9].

특히, 급전선상에 진행파만 존재하여야 되는 비동조 급전선인 경우, 임피던스 정합이 이루어지지 않으면 반사파가 발생되어 급전선상에 정재파가 존재하게 된다. 이로 인하여 급전선의 손실 증가 및 최대 전력 전송의 저하, 대전력 전송시 정재파의 전압 과복점이 비정상적으로 커지기 때문에 급전선의 절연이 파괴될 수 있으며, 반사 전류가 급전선상을 여러 차례 왕복하기 때문에 TV방송에서는 이중상(ghost)현상이 생기고 FM 방송에서는 왜율이 증가하며, 송신기의 출력회로 조정이 곤란해진다.

임피던스 정합회로는 에너지 소비가 적은 인덕터와 커패시터에 의한 집중정수회로와 도선 등에 의한 분포정수회로로 구성할 수 있는데, 여기서는 집중정수회로에 대해서만 다루기로 한다.

#### 1) 평행 2선식인 경우

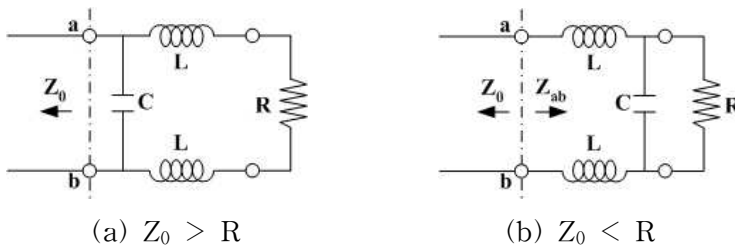


그림 4.1 평행 2선식 급전선인 경우의 정합회로

Fig. 4.1 Matching circuit of twin-lead type feeder.

그림 4.1과 같이 급전선의 특성임피던스  $Z_0$ 와 안테나의 입력 임피던스  $R$ 이 같지 않은 경우 급전선과 안테나 사이에  $L$ 과  $C$ 로 구성된 회로를 넣어 정합을 취할 수 있다[10].

$Z_0 > R$ 인 경우는 그림 4.1(a)와 같이 구성하여 정합하고, 정합이 이루어진 경우 단자 a-b에서 안테나 측을 본 임피던스  $Z_{ab}$ 와 급전선의 특성 임피던스  $Z_0$ 는 같아야 하므로

$$Z_{ab} = \frac{(R + j\omega L)(1/j\omega C)}{R + j\omega L + (1/j\omega C)} = \frac{R + j\omega L}{1 - 2\omega^2 LC + j\omega CR} = Z_0 \quad (4.1)$$

이 되므로, 이 식에서  $L$ 과  $C$ 의 값을 구하면 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} L &= \frac{1}{2\omega} \sqrt{R(Z_0 - R)} \\ C &= \frac{1}{\omega Z_0} \sqrt{(Z_0 - R)/R} \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

$Z_0 < R$ 인 경우는 그림 4.1(b)와 같이 구성하여 정합하고, 정합이 이루어진 경우  $L$ 과  $C$ 의 값을 구하면 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} L &= \frac{1}{2\omega} \sqrt{Z_0(R - Z_0)} \\ C &= \frac{1}{\omega R} \sqrt{(R - Z_0)/Z_0} \end{aligned} \right\} \quad (4.3)$$

## 2) 동축케이블인 경우

동축케이블의 특성임피던스  $Z_0$ 와 안테나의 입력 임피던스가 같지 않은 경우 그림 4.2와 같이 회로를 구성하여 안테나와 급전선을 정합시킨다.

$Z_0 > R$ 인 경우는 그림 4.2(a)와 같이 구성하여 정합을 취하고, 정합되기 위한  $L$ 과  $C$ 의 값은 다음과 같다.

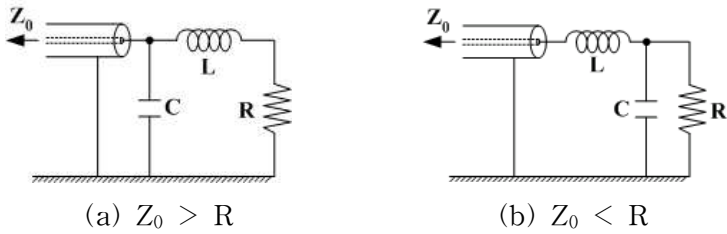


그림 4.2 동축케이블인 경우의 정합회로

Fig. 4.2 Matching circuit of coaxial cable.

$$\left. \begin{aligned} L &= \frac{1}{\omega} \sqrt{R(Z_0 - R)} \\ C &= \frac{1}{\omega R} \sqrt{(Z_0 - R)/R} \end{aligned} \right\} \quad (4.4)$$

$Z_0 < R$ 인 경우는 그림 4.2(b)와 같이 구성하여 정합을 취하고, 정합되기 위한  $L$ 과  $C$ 의 값은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} L &= \frac{1}{\omega} \sqrt{Z_0(R - Z_0)} \\ C &= \frac{1}{\omega Z_0} \sqrt{(R - Z_0)/Z_0} \end{aligned} \right\} \quad (4.5)$$

그림 4.1과 4.2의 회로를  $L$ 형 정합회로라고 하며, 그 밖에  $\pi$ 형, 전자(電磁)결합형 정합회로가 사용되기도 한다.

#### 4.1.2 임피던스 정합회로 계산

##### 1) 인덕터 $L$ 값 산출

25 [ $\Omega$ ]을 50 [ $\Omega$ ]으로 정규화 하면,  $0.5+j0$  [ $\Omega$ ]이 되므로 그림 4.4의 '1' 지점이 되고, 다음 식이 얻어진다[11][12].

$$j\frac{\omega L}{50} = j0.5 \quad (4.6)$$

여기서,  $f=154$  [MHz]이면 직렬  $L$ 값은 다음 계산으로 얻을 수 있다.

$$j\frac{\omega L}{50} = j0.5 \text{ 에서 } \frac{\omega L}{50} = 0.5 \text{ 이므로}$$

$$L = \frac{0.5 \times 50}{\omega} = \frac{25}{2\pi \times 154 \times 10^6} = 25.8 \text{ [nH]} \quad (4.7)$$

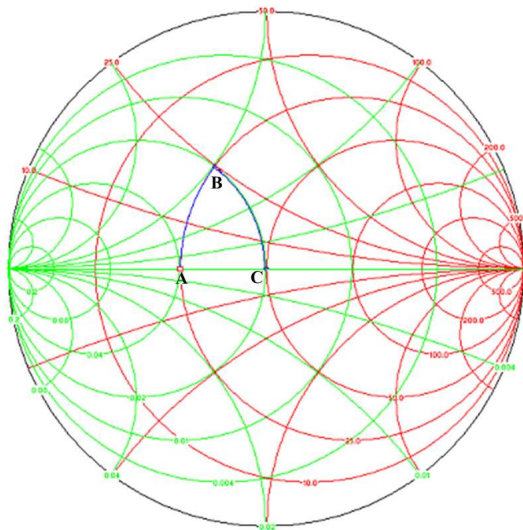


그림 4.3 Smith Chart를 이용한 임피던스 정합회로 설계

Fig. 4.3 Design of impedance matching circuit using smith chart.

2) 커패시터  $C$  값 산출

점 B의 어드미턴스  $Y=1.0-j1.0$  [Ω]

점 C의 어드미턴스  $Y=1.0+j0.0$  [Ω]에서 서셉턴스  $B$  변화분은

$$BC=j0.0-(-1.0)=j1.0 \quad (4.8)$$

이 되고, 이로부터 다음이 구해진다.

$$-j\frac{1}{\omega C \times 50} = \frac{1}{1.0} \quad (4.9)$$

여기서,  $f=154$  [MHz]이면 병렬  $C$  값은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$C = \frac{1.0}{\omega \times 50} = \frac{1.0}{2\pi \times 154 \times 10^6 \times 50} = 20.67 \text{ [pF]} \quad (4.10)$$

임피던스 정합회로를 설계한 결과,  $L$ 은 2.58 [nH],  $C$ 는 20.67 [pF]이 됨을 알 수 있고, 이를 그림 4.4에 등가회로로 보인다[13].

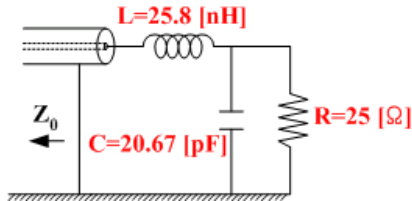


그림 4.4  $L$  값과  $C$  값의 계산 결과

Fig. 4.4 Calculation results of  $L$  value and  $C$  value



## 4.2 Sonobuoy 안테나와 송신기간 임피던스 정합

### 4.2.1 Sonobuoy 안테나와 송신기간의 정합회로 추가

그림 4.5에 sonobuoy 안테나와 송신기 사이의 임피던스 정합을 위하여 정합회로를 추가한 안테나의 구조를 보인다. 정합회로의 소자값 산출은 4.1.2절과 같은 방법으로 행하였다.

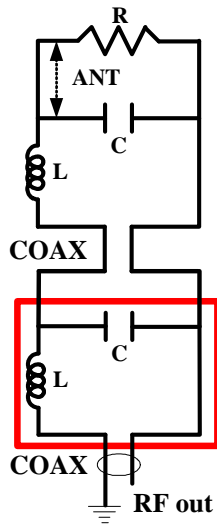


그림 4.5 안테나와 송신기간 임피던스 정합회로 추가

Fig. 4.5 Impedance matching circuit addition of between antenna and transmitter.

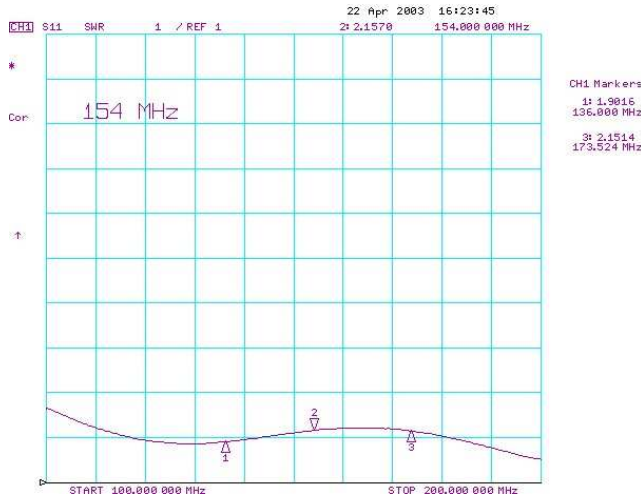
## 제 5 장 실험결과

### 5.1 동축케이블과 안테나간 임피던스 정합회로 실험결과

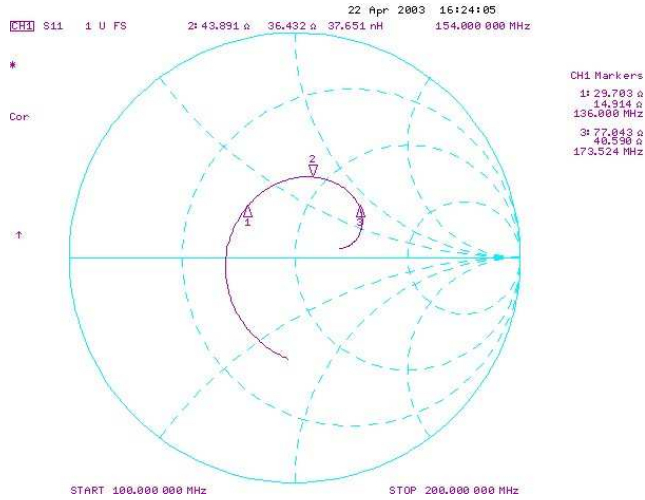
#### 5.1.1 임피던스 정합회로를 추가하지 않았을 때의 결과

그림 5.1(a)는 network analyzer를 이용하여 동축케이블과 안테나간 임피던스 정합회로를 추가하지 않았을 때의 SWR 측정 결과를 보이고 있다. 135 MHz에서 1.9, 155 MHz에서 2.16, 175 MHz에서 2.15의 다소 좋지 않은 특성을 보이고 있다.

그림 5.1(b)는 network analyzer를 이용하여 동축케이블과 안테나간 임피던스 정합회로를 추가하지 않았을 때의 임피던스 측정 결과를 보이고 있다. 135 MHz에서  $29.7+j15$  [ $\Omega$ ], 155 MHz에서  $43.9+j36.4$  [ $\Omega$ ], 175 MHz에서  $77+j40.6$  [ $\Omega$ ]의 다소 좋지 않은 특성을 보이고 있다.



(a) 측정된 SWR



(b) 측정된 임피던스 궤적

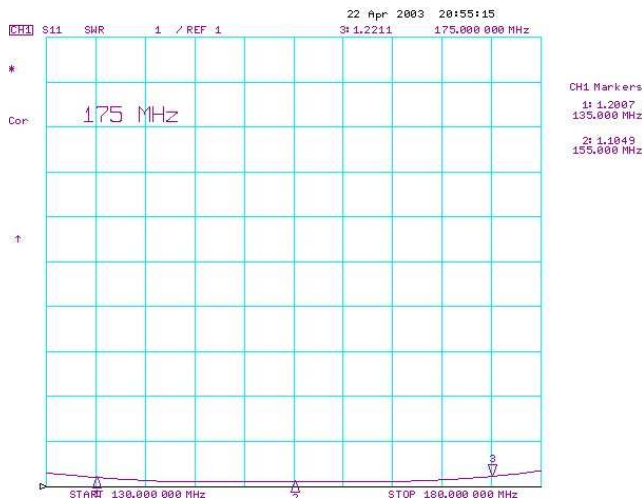
그림 5.1 임피던스 정합회로가 없을 때의 측정된 SWR과 임피던스 궤적

Fig. 5.1 Measured SWR and impedance locus without impedance matching circuit.

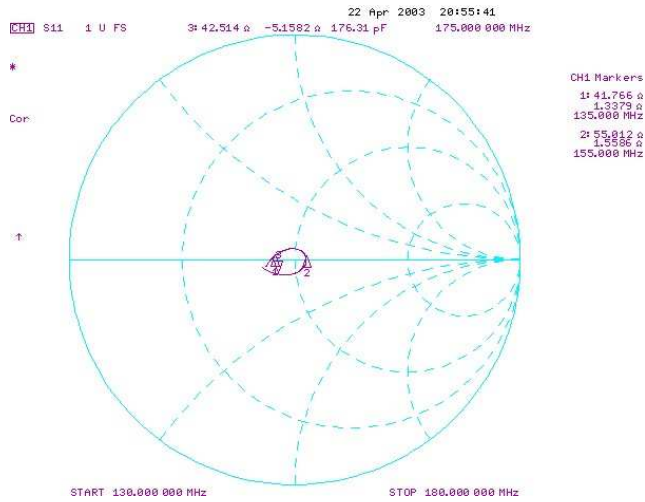
### 5.1.2 임피던스 정합회로를 추가했을 때의 결과

그림 5.2(a)는 network analyzer를 이용하여 동축케이블과 안테나간 임피던스 정합회로를 추가했을 때의 SWR 측정 결과를 보이고 있다. 임피던스 정합회로를 추가하지 않았을 때의 결과와 달리 135 MHz에서 1.2, 155 MHz에서 1.1, 175 MHz에서 1.22의 좋은 특성을 보이고 있다.

그림 5.2(b)는 network analyzer를 이용하여 동축케이블과 안테나간 임피던스 정합회로를 추가하지 않았을 때의 임피던스 측정 결과를 보이고 있다. 임피던스 정합회로를 추가하지 않았을 때의 결과와 달리 135 MHz에서  $41.77+j1.34$  [ $\Omega$ ], 155 MHz에서  $55+j1.56$  [ $\Omega$ ], 175 MHz에서  $42.5-j1.56$  [ $\Omega$ ]의 좋은 특성을 보이고 있다.



(a) 측정된 SWR



(b) 측정된 임피던스 궤적

그림 5.2 임피던스 정합회로를 추가했을 때의 측정된 SWR과 임피던스 궤적

Fig. 5.2 Measured SWR and impedance locus with impedance matching circuit.

## 5.2 Sonobuoy 안테나의 방사패턴 측정

그림 5.3은 sonobuoy 안테나의 방사패턴을 측정하기 위한 실험환경을 보이고 있다. 전파암실의 크기는 16.32 m(L) × 6.39 m(W) × 6.06 m(H) 이고,  $\lambda/2$  다이폴 안테나와 sonobuoy 송신기 사이의 거리는 11 m로 구축을 하였다. 바닥에는 전파의 반사가 생기지 않도록 하기 위하여 흡수체를 두었다.

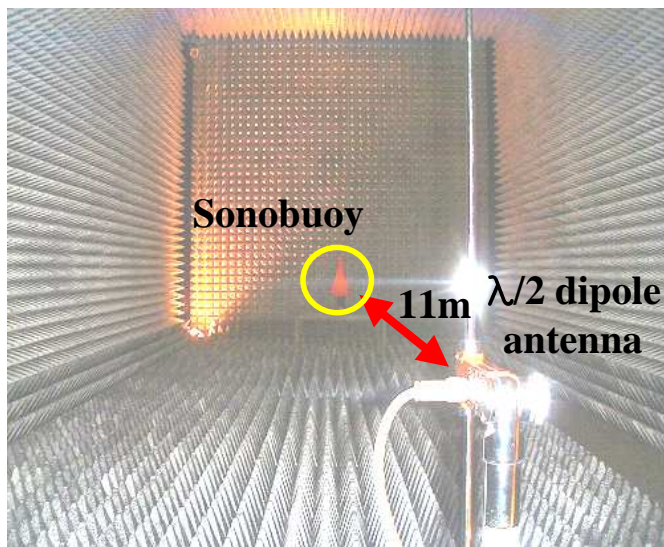


그림 5.3 실험환경

Fig. 5.3 Measurement environment.

Sonobuoy 안테나의 방사패턴을 전파암실 내에서 측정하였다. 안테나의 방사패턴은 azimuth 방향과 elevation 방향을 모두 측정하였고, 그림 5.4에  $0^\circ \sim 180^\circ$  사이의 elevation 방향으로의 방사패턴 측정결과를 보이고, MIL Spec.과 제작된 안테나의 수직편파 측정 비교를 표 5.1에 요약하였다.

표 5.1 MIL 3.6.3.1과 제작된 안테나의 비교

Table 5.1 Comparison of between MIL 3.6.3.1 and fabricated antenna.

|                            | 3° ~ 15°  | 15° ~ 60°  | 90°        |
|----------------------------|-----------|------------|------------|
| MIL Spec.<br>(MIL 3.6.3.1) | - 3 dB 이하 | - 12 dB 이하 | - 20 dB 이상 |
| 제작된 안테나                    | - 3 dB 이하 | - 10 dB 이하 | - 25 dB 이상 |

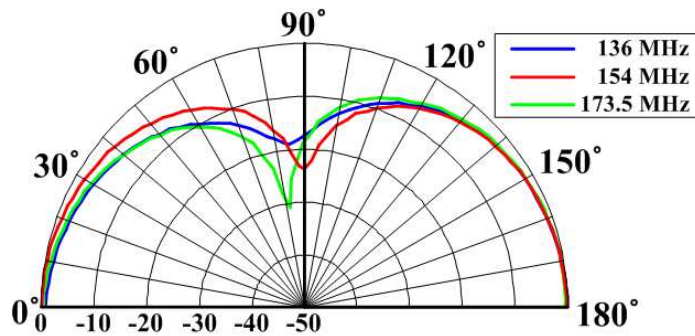


그림 5.4 Sonobuoy 안테나의 elevation 방향 방사패턴

Fig. 5.4 Elevation radiation pattern of sonobuoy antenna.

그림 5.5에 0° ~ 350° 사이의 azimuth 방향으로의 방사패턴 측정 결과를 보이고, MIL Spec.(MIL 3.6.3.2)과 제작된 안테나의 수평편파 측정 결과의 비교를 표 5.2에 요약하였다.

표 5.2 MIL 3.6.3.2와 제작된 안테나의 비교

Table 5.2 Comparison of between MIL 3.6.3.2 and fabricated antenna.

|                            |  |
|----------------------------|--|
| MIL Spec.<br>(MIL 3.6.3.2) | 할당된 VHF 채널 주파수에서 수직편파의 반치폭 - 3 dB이내에서, 수평편파는 수평방향으로 $\pm 1$ dB에 존재해야 함 |
| 제작된 안테나                    | 측정된 수평편파는 할당된 VHF 채널 주파수에서 반치폭 - 3 dB이내에서 수평방향으로 $\pm 0.85$ dB이내에 존재   |

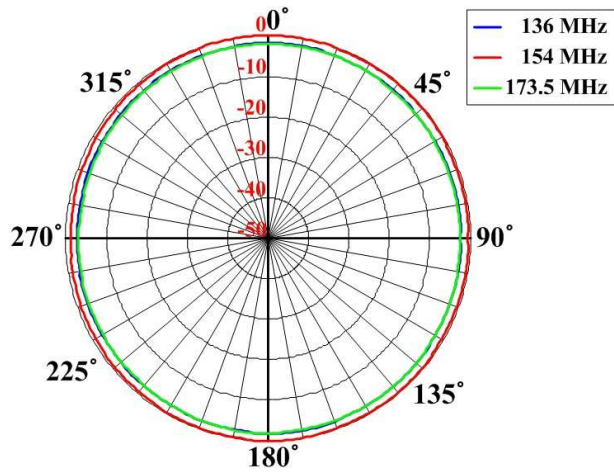
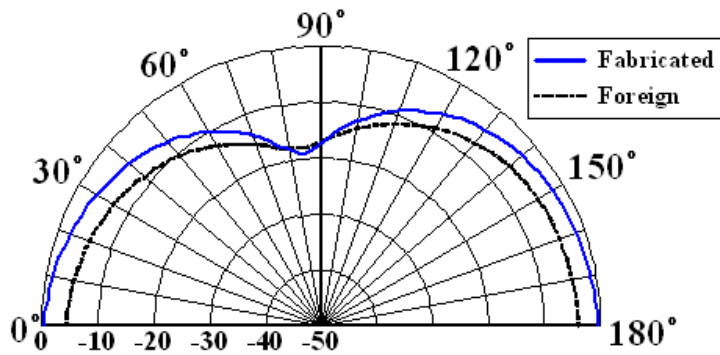


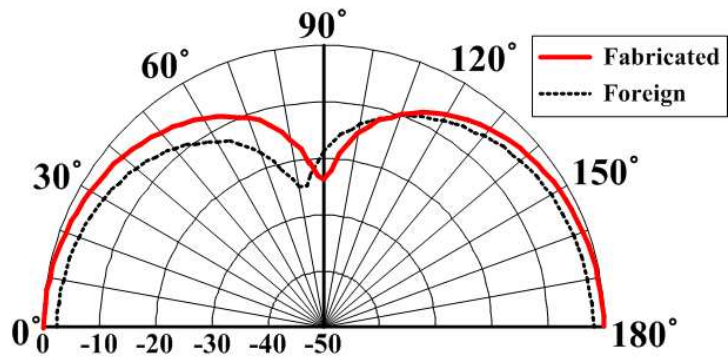
그림 5.5 Sonobuoy 안테나의 azimuth 방향 방사패턴  
 Fig. 5.5 Azimuth radiation pattern of sonobuoy antenna.

그림 5.6에 elevation 방향으로의 방사패턴을 기존의 외국 안테나(H사)와 제작된 안테나를 비교해 보았다. 비교한 결과 기존의 외국 안테나보다 null point가 90°에 가깝고, MIL Spec.을 만족하고 있음을 알 수 있었다.

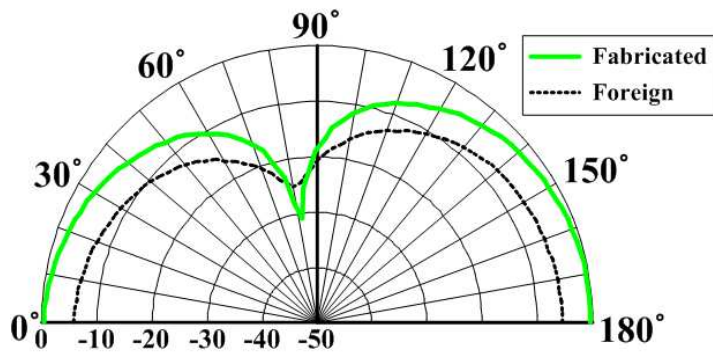


(a) 136 MHz





(b) 154 MHz

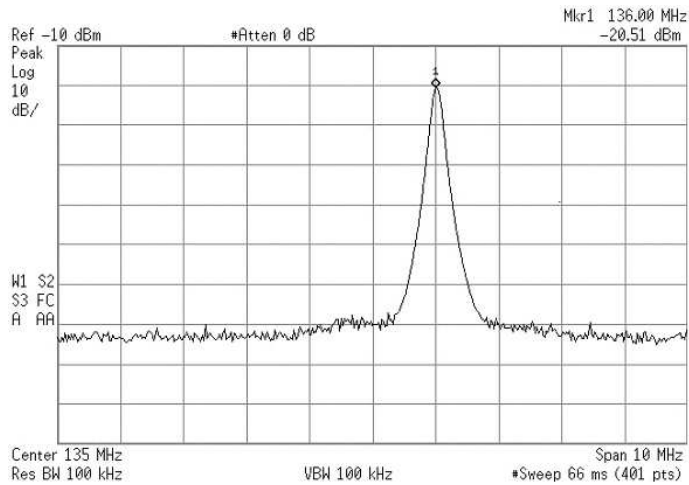


(c) 173.5 MHz

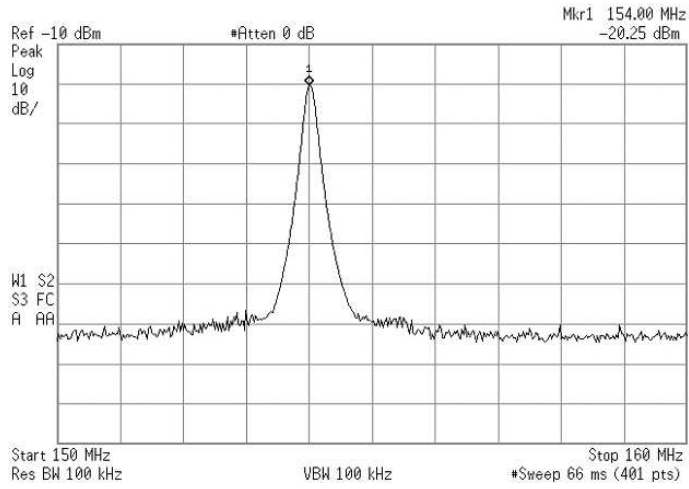
그림 5.6 외국 안테나와 제작된 안테나의 방사패턴 비교  
 Fig. 5.6 Radiation pattern comparison of foreign antenna and fabricated antenna.

### 5.3 송신기의 Spurious 방사 측정

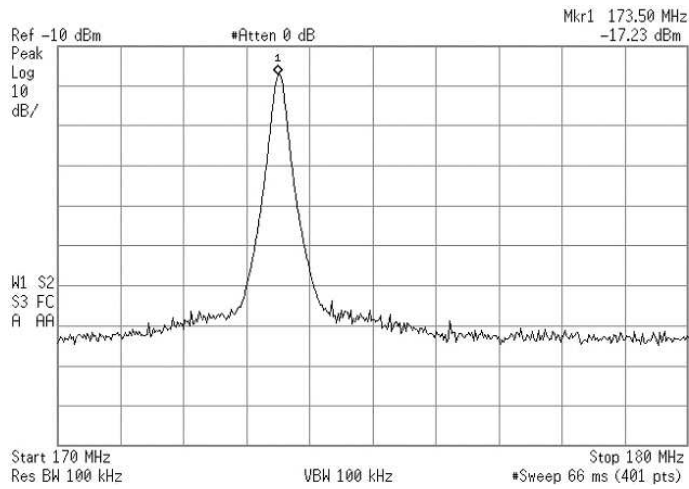
그림 5.7에 송신기의 spurious 방사 측정 결과를 보이고 있다. MIL Spec.에서는 VHF 반송파 주파수에서 방사되는 신호의 main lobe 전력밀도에 비하여 40 dB 보다 큰 spurious 방사 스펙트럼의 성분이 없어야 한다고 규정하고 있고, 할당된 VHF 주파수에서 spectrum analyzer를 이용, spurious 방사 스펙트럼 성분을 측정하였다. 측정된 결과 인접주파수 간섭과 spurious 방사 스펙트럼 성분 나타나지 않았고, 측정된 잡음레벨은 136 MHz, 154 MHz, 173.5 MHz에서 모두 - 60 dB 이하로 MIL Spec.을 만족하고 있음을 알 수 있다.



(a) 136 MHz



(b) 154 MHz



(c) 173.5 MHz

그림 5.7 Sonobuoy transmitting system의 spurious 방사 측정  
 Fig. 5.7 Spurious radiation measurement of sonobuoy transmitting system.

## 제 6 장 결 론

현재 해상용 sonobuoy transmitting 안테나 시스템은 외국기술에 의존하고 있는 것이 현실이다. 이를 위하여 MIL Spec.에서 제시하고 있는 VHF 주파수에 적합하도록 전파암실의 환경을 구축하여 sonobuoy 안테나를 설계·실험하였다. 제안된 sonobuoy 안테나는 임피던스 정합회로를 추가함으로써 임피던스 특성 및 안테나의 방사패턴이 양호한 특성을 보이고 있다. 이는 실제 사용시 사용거리를 길게 할 뿐 아니라 임피던스 매칭을 취함으로써 sonobuoy 송신기의 배터리 시간도 연장할 수 있는 장점이 있고, MIL Spec. 기준에도 만족하고 있다.

Sonobuoy 안테나의 측정은 한국해양대학교에서 보유하고 있는 전파암실을 이용하였다. 전파암실에서 136 MHz, 154 MHz, 173.5 MHz 세 주파수에 대한 sonobuoy 안테나의 azimuth 방향과 elevation 방향으로의 방사패턴을 측정한 결과 이상적인  $\lambda/4$  수직접지 안테나의 방사패턴과 유사한 특성을 가지는 것을 확인하였다.

각 회로단의 임피던스 정합을 위하여 임피던스 정합회로를 설계·제작하였다. 정합회로를 network analyzer로 측정한 결과 임피던스 정합회로를 추가했을 때의 임피던스 특성이 136 MHz ~ 173.5 MHz에 걸쳐서 매우 완만한 특성을 얻을 수 있음을 확인하였다.

Sonobuoy 안테나의 elevation 방향으로의 방사패턴에서 173.5 MHz의 경우 null point가 약 82.5°로 90°로부터 7.5°정도 벗어나 있음을 알 수 있는데 173.5 MHz의 높은 주파수대에서는 반사가 큰 것으로 사료되며, 송신기의 spurious 방사 측정한 결과 MIL Spec.을 충분히 만족하고 있음을 확인하였고, 기존의 외국제품에 충분히 대응할 수 있을 것이라 사료된다.

## 참 고 문 헌

- [1] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory*, John Wiley & Sons, Inc, 1997.
- [2] Warren L. Stutzman and Gray A. Thiele, *Antenna theory and design*, John Wiley & Sons, 1998.
- [3] Y.T. Lo and S.W. Lee, *Antenna Handbook*, Chapman & Hall, 1993.
- [4] 이형배, 이형배의 비주얼베이식 6, 사이버출판사, 2000.
- [5] 최선중, Visual Basic과 함께 하는 열려라 통신, 무한테크놀러지, 2002.
- [6] K. Fujimoto and J. R. James, *Mobile antenna systems handbook*, Artech House, 2001.
- [7] 박정일, 안테나 측정기술, 한국표준과학연구원, 2001.
- [8] Maeda Atsuya, *Method of Antenna Factor Calibration*, 前田技術士事務所, 1999. Japan.
- [9] 岡本次雄, 大賀忠雄, モービルハムの技術, 電波實驗社, 1984.
- [10] 李祺學, 金天錫, 崔光濟, 申憲澈, 전자과 및 안테나 공학, 光閣文, 1998.
- [11] 김정기, 박영기, RF 회로 설계, 우신, 1999.
- [12] 水谷 眞理, “整合回路一體型アンテナに関する研究”, Thesis, Yokohama National University, Feb. 2003.
- [13] 手塚 昌伸, 水澤 丕雄, 野口 啓介, 別段 信一, 片木 孝至, 今西 康人, “アンテナ自動整合システムにおける整合回路”, 電子情報通信學會論文誌, vol. J85-B, no. 11, pp. 1977-1980, 2002. 11.

## 본 연구와 관련된 발표 논문

- [1] 민경식, **임경우**, 고지원, 박철근, 최재훈, 이경학, "도래방향 추정을 위한 안테나 측정 프로그램의 개발에 관한 연구", 2002년 추계 마이크로파 및 전파학술대회 논문집, 제25권 1호, pp. 255-258, 호남대, 2002년 9월.
- [2] 민경식, **임경우**, "전파암실용 안테나 측정 프로그램 개발에 관한 연구", 2002년도 대한전자공학회 한국통신학회 부산·경남지부 추계 합동 학술논문발표회 논문집, 제11권 2호, pp. 165-168, 부경대, 2002년 12월.
- [3] 민경식, **임경우**, 박영환, "임피던스 정합회로를 가지는 VHF대 수직접지 안테나의 측정", 2003년도 춘계 마이크로파 및 전파통신 학술대회 논문집, 제26권 1호, pp. 573-576, 서울시립대, 2003년 5월.
- [4] 민경식, 박영환, **임경우**, "해상용  $\lambda/4$  수직접지 송신안테나 시스템의 특성평가", 2003년도 춘계 마이크로파 및 전파통신 학술대회 논문집, 제26권 1호, pp. 589-592, 서울시립대, 2003년 5월.
- [5] Kyeong-Sik Min, **Kyeong-Woo Im**, and Young-Hwan Park, "Performance of Sonobuoy Antenna Compensated with Impedance Matching Circuit at VHF band", *APMC '03*, Vol. 01, No.1, pp.591-594, Seoul, Korea, Nov. 2003.

## 감사의 글

오늘의 소중한 결실을 맺기 까지 많이 부족한 저를 세심하게 지도를 해주신 민경식 지도교수님께 감사드립니다. 그리고 더 좋은 논문이 될 수 있도록 세심한 조언을 해주신 조형래 교수님, 김기만 교수님께 감사드리며, 항상 제자들을 먼저 생각하시는 전과공학과 모든 교수님들께 머리 숙여 감사드립니다.

2년동안 연구실에서 같이 생활하며 많은 도움을 준 지원형, 진생형, 철근이, 상학형, 중현형, 영환이, 동진이에게 고마움을 전하며, 전과공학과 모든 연구실 대학원생들의 앞날에 좋은 일들만 있기를 기원합니다.

그리고 오늘의 제가 있기까지 가장 큰 영향을 주신 이헌덕, 남병근, 오상훈 은사님과 충주대학교 박동희 교수님께도 진심으로 감사드립니다.

어린 시절, 낚땀이 무작정 좋아서 공업고등학교를 진학하였고, 열심히 노력한 결과 석사학위를 취득하게 되었습니다. ‘盡人事待天命’이라는 말이 있듯, 언제 어디서나 최선을 다해서 노력하고 하늘의 뜻을 기다리는 사람이 되겠으며, 사회라는 곳에서 저의 이름 석자를 널리 알릴 수 있도록 열심히 노력하겠습니다.

끝으로 항상 저의 든든한 후원자이신 부모님, 이모, 외삼촌 가족들과 곧 결혼을 앞두고 있는 형, 누나에게 정말 고맙다는 말을 하고 싶습니다. 꼭 그 은혜는 잊지 않고 영원히 보답하도록 하겠으며 오늘 저의 이 작은 논문을 바칩니다.

2003년 12월

임경우 올림

