

工學碩士 學位論文

안테나 측정 환경 구축에 관한 연구

A Study on Construction of Antenna Measurement  
Environment

指導教授 閔 庚 植

2005年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電 波 工 學 科

朴 永 煥

本 論 文 을 朴 永 煥 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

委 員 長 : 工 學 博 士 趙 炯 來



委 員 : 工 學 博 士 尹 榮



委 員 : 工 學 博 士 閔 庚 植



2005年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電 波 工 學 科

朴 永 煥

# 목 차

Abbreviations .....	iii
Abstract .....	iv
<b>제 1 장 서 론 .....</b>	<b>1</b>
1.1 연구배경 .....	1
1.2 연구목적 및 필요성 .....	1
1.3 연구목표 .....	2
<b>제 2 장 안테나 측정 환경 .....</b>	<b>3</b>
2.1 전파암실의 안테나 측정 시스템 구성 .....	3
2.2 안테나 측정 알고리즘 .....	5
2.2.1 방사패턴 측정 프로그램 .....	5
2.2.2 이득 측정 프로그램 .....	10
<b>제 3 장 제작된 프로그램을 이용한 안테나 측정 .....</b>	<b>13</b>
3.1 안테나 방사패턴 측정 .....	13
3.2 안테나 이득 측정 .....	14

<b>제 4장 Sonobuoy 송신기의 측정</b> .....	<b>19</b>
4.1 Sonobuoy 송신기의 개요 .....	19
4.2 Sonobuoy 송신기의 측정환경 .....	21
4.2.1 Sonobuoy 송신기의 측정시스템 구성 .....	21
4.2.2 Sonobuoy 안테나의 구조 .....	24
4.2.3 Sonobuoy 송신기 측정 프로그램 .....	26
4.3 Sonobuoy 송신기의 특성 평가 .....	32
4.3.1 방사패턴 .....	34
4.3.2 출력강하 .....	36
4.3.3 전력밀도 .....	38
4.3.4 Spurious 방사 .....	41
<b>제 5 장 결 론</b> .....	<b>43</b>
<b>참고 문헌</b> .....	<b>45</b>
<b>발표 논문</b> .....	<b>47</b>
<b>감사의 글</b> .....	<b>48</b>

## Abbreviations

<b>ASW</b>	Anti Submarine Warfare
<b>CW</b>	Continuous Wave
<b>GPIB</b>	General Purpose Interface Bus
<b>GUI</b>	Graphic User Interface
<b>MTI</b>	Moving Target Indication
<b>PC</b>	Personal Computer
<b>RF</b>	Radio Frequency
<b>SWR</b>	Standing Wave Ratio
<b>VHF</b>	Very High Frequency

## **Abstract**

In this thesis, a program was presented for antenna measurement with GUI technique. In order to obtain the accuracy of measurement results and the reduction of the measurement time, the measurement equipments are automatically controlled by a proposed program. These equipments are connected by GPIB cable. The measured data are also normalized automatically by the proposed program. This software provides visually the measured results such as a normalized radiation pattern and antenna gain. As a result, It was confirmed that, the proposed antenna measurement program showed a good performance.

In addition, measurement results of sonobuoy transmitter was presented as an example of antenna measurement. A measurement program for sonobuoy transmitter using GUI technique was developed, because sonobuoy transmitter should keep the strict military specification. This program offers automatic normalization of measured data and shortens measurement time. In Addition, the SWR and the radiation patterns and characteristics of sonobuoy transmitter were measured and estimated. Also the drop out, power density and spurious radiation of sonobuoy transmitter were measured and estimated. As a result, sonobuoy transmitter satisfied the military specification and it showed a good performance.

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구배경

최근 무선통신 기술은 급속히 성장하고 있으며, 특히 휴대전화로 대표되는 이동통신 분야는 획기적인 발전을 거듭하고 있다. 휴대전화의 경우만 보더라도 사용자의 수요가 기하급수적으로 증가하고 있으며, 차세대 무선통신 서비스에서는 초고속 데이터 통신을 위해 높은 주파수 대역, 더 많은 채널 용량, 더 넓은 대역폭이 요구되고 있다. 이와 같이 증가하고 있는 무선시스템 이용자들의 요구를 충족시키기 위한 안테나 설계·제작 및 측정기술 연구는 반드시 필요하다. 하지만 이러한 안테나의 성능을 산술적으로 정확히 측정하는 것은 불가능하다. 그 이유는 안테나를 둘러싸고 있는 환경이 안테나의 성능에 지대한 영향을 미치기 때문이다. 따라서 안테나의 기술 개발도 중요하지만 안테나의 성능을 정확히 측정하기 위한 설비 및 시스템 구축에도 많은 관심을 기울여야 한다[1]. 본 논문에서는 이러한 요구를 만족시키고, 전파암실의 환경에 맞는 안테나 측정 프로그램을 제작하였다. 또한 안테나 시스템 측정의 한 예로 ASW용으로 사용되는 해상용 Sonobuoy 송신기의 특성을 측정할 수 있는 측정 프로그램을 제작하고, Sonobuoy 송신기의 특성을 측정하였으며, 측정된 결과들을 미국의 Military Specification과 비교함으로써 제작된 송신기의 성능을 평가하였다.

## 1.2 연구목적 및 필요성

본 논문에서는 각종 안테나의 특성 측정을 자동적으로 수행할 수 있는 안테나 측정 프로그램의 개발 결과 및 개발된 프로그램을

이용한 안테나 측정 결과를 제시하고 검토한다. 기존의 안테나 특성 측정 프로그램은 매우 고가이고 측정장비의 종류에 따라 프로그램을 사용할 수 없거나, 프로그램을 대폭 수정해야 하는 단점을 가지고 있다. 또한 자동화된 측정 프로그램을 사용하지 않고 수동적으로 안테나를 측정할 경우, 많은 시간이 소요되고 측정결과에 오차도 많이 생길 수 있어 신뢰성이 떨어진다. 본 논문에서는 이러한 단점을 해결하고 전과암실 환경에 맞게 제작한 안테나 측정 프로그램을 제안한다.

### 1.3 연구목표

전과암실에서 안테나 측정을 위해 사용하는 장비로는 Agilent사의 8530A Microwave Receiver, 8511B Frequency Converter, 83650L Signal Generator, Orbit사의 AL4806-3A Positioner Controller 등이 있다. 본 논문에서는 이와 같은 장비들을 GPIB board를 통해 PC와 연결하고, PC를 이용하여 안테나 측정 장비들을 자동적으로 제어함으로써, 안테나 측정을 간단히 수행할 수 있는 안테나 측정 프로그램을 제안한다. 또한 제작한 안테나 측정 프로그램을 이용하여 여러 가지 안테나의 특성을 측정하여 본래 안테나의 특성과 측정치가 일치하는지를 확인하여 제작한 안테나 측정 프로그램의 타당성을 검증하고자 한다.

또한 안테나 시스템 측정의 예로 Sonobuoy 송신기의 특성을 미국의 Military Specification과 비교해 측정함으로써 Sonobuoy 송신기의 성능을 평가한다.



## 제 2 장 안테나 측정 환경

### 2.1 전파암실의 안테나 측정 시스템 구성

안테나의 특성을 측정하는데 필요한 기기는 측정 방법의 기능적 요구 사항에 따라 다르다. 안테나 측정에 사용되는 기기들은 넓은 주파수 대역에서 동작하도록 설계되어야 하며 일반적으로 송신 안테나와 송신 장치, 수신안테나와 수신 장치, 안테나 위치 조정 장치, 기록 장치, 데이터 처리 장치 등 크게 5개의 범주로 나눌 수 있다.

이를 전파암실에 적용시키면 다음과 같다. 송신장치로는 83650L CW Generator를 사용하였고, 수신장치로는 8511B Frequency Converter와 8530A Microwave Receiver를 사용하였다. 또한 안테나의 회전을 위해 orbit사의 AL4806-3A Positioner Controller를 사용하였다. 이와 같은 안테나 측정 시스템의 전체적인 제어를 위해 PC에 GPIB board를 설치하고, PC와 안테나 측정 장비들을 GPIB cable로 연결하였다. 그리고 Microsoft Visual Basic 6.0을 이용하여 안테나 측정 장비들을 자동적으로 제어하여 자동적인 안테나 측정을 가능하게 하고 측정 결과를 PC로 확인할 수 있는 안테나 측정 프로그램을 제작하였다.

그림 2.1은 안테나 측정 시스템의 구성을 나타내고 있다. CW Generator에서 나오는 송신신호는 Coupler를 거쳐 송신안테나와 Frequency Converter로 신호가 전달된다. 이때 1/10의 송신신호가 Frequency Converter로 전달되는 이유는 Frequency Converter가 송신신호의 주파수, 진폭 등의 정보를 파악하고 나중에 들어올 수신신호와 비교를 통해 안테나의 특성을 계산하기 위해서이다. 송신신호가 송신안테나를 통해 공간으로 방사되면 수신안테나는 이 신호

를 수신하여 Frequency Converter로 전달한다. Microwave Receiver는 Frequency Converter로 입력된 신호들을 종합하여 측정하고자 하는 안테나 측정 결과를 출력한다. 또한 송신안테나에는 Polarization Positioner, 수신안테나에는 Azimuth / Elevation Positioner가 있어서, 안테나의 정밀한 회전을 담당한다. 이러한 안테나 측정 시스템을 자동적으로 제어함으로써 안테나의 중요 파라미터인 방사패턴과 이득 측정을 쉽게 할 수 있는 프로그램을 다음장에서 보인다[2].

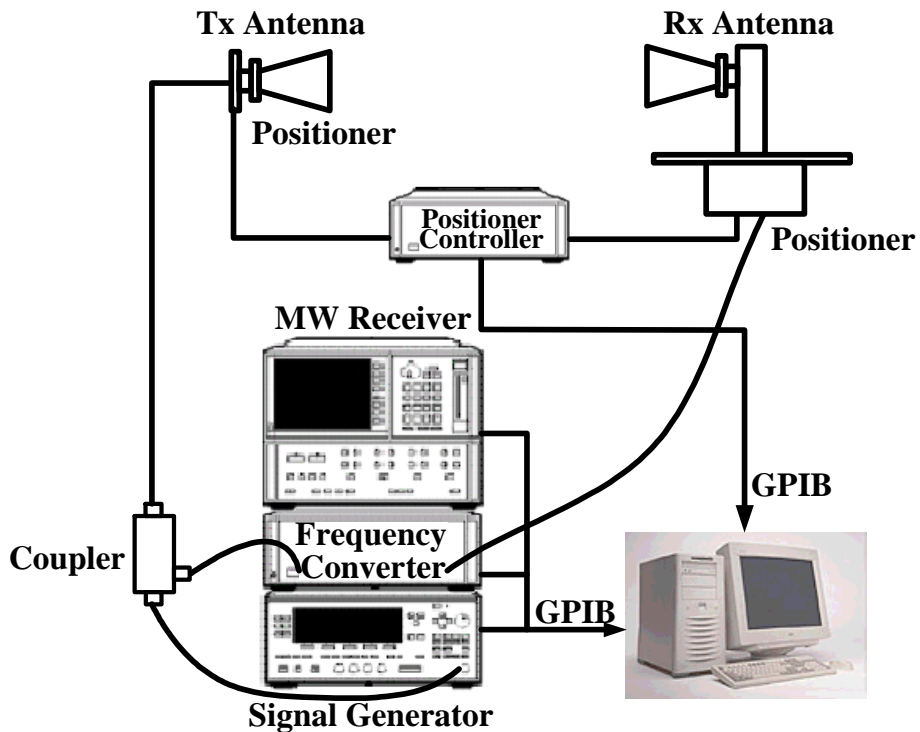


그림 2.1 안테나 측정 시스템의 구성

Fig. 2.1 Configuration of antenna measurement system.

## 2.2 안테나 측정 알고리즘

### 2.2.1 방사패턴 측정 프로그램

방사패턴은 안테나로부터 자유공간으로 전파되는 전자파 에너지의 모양을 나타내는 용어로 일반적으로 안테나의 Far-Field 방사 특성을 의미하며 공간좌표계를 이용하여 3차원 그래픽으로 표현한다. Far-Field 영역은 안테나로부터 방사되는 전자파가 유도계 성분과 용량계 성분의 영향을 전혀 받지 않는 충분히 먼 영역으로써 순수하게 방사계 성분만으로 원거리 통신에 기여하는 전계성분을 의미한다. 방사패턴은 안테나에 의해 전송된 신호의 방향에 대한 에너지 분포를 나타내는 함수로서 전송전력의 상대적인 레벨을 표시한다. 안테나는 가역적 성질을 가지고 있으므로 송수신 어디에도 사용할 수 있으며, 송수신 어디에 사용되더라도 동일한 모양의 방사패턴을 갖는다. 그림 2.2는 다이폴 안테나의 3차원 방사패턴을 보여주고 있다.

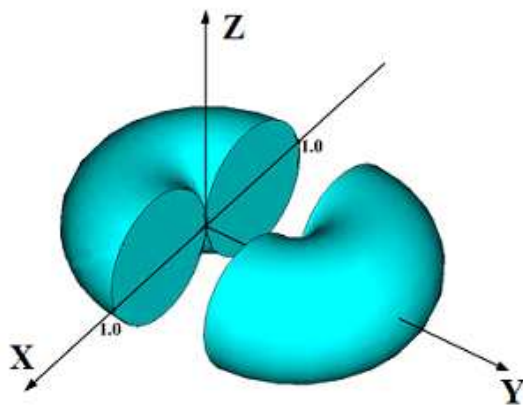


그림 2.2 다이폴 안테나의 3차원 방사패턴  
Fig. 2.2 Radiation pattern of dipole antenna.

일반적으로 방사패턴이 3차원 함수라 하더라도, 편의상 두 개의 2차원 방사패턴으로도 그 안테나의 방향성을 나타내기에 충분하다. 그림 2.2로부터 알 수 있는 것처럼, 전계와 평행한 x-z면을 전계면 또는 E-plane 그리고 자계와 평행한 x-y면을 자계면 또는 H-plane 이라 부른다. 따라서 다이폴 안테나의 경우, 전계면은 8자 모양을, 자계면은 ○의 모양을 하고 있다[3]. 그림 2.3은 다이폴 안테나의 전계면과 자계면에 대한 정의를 나타내고 있다.

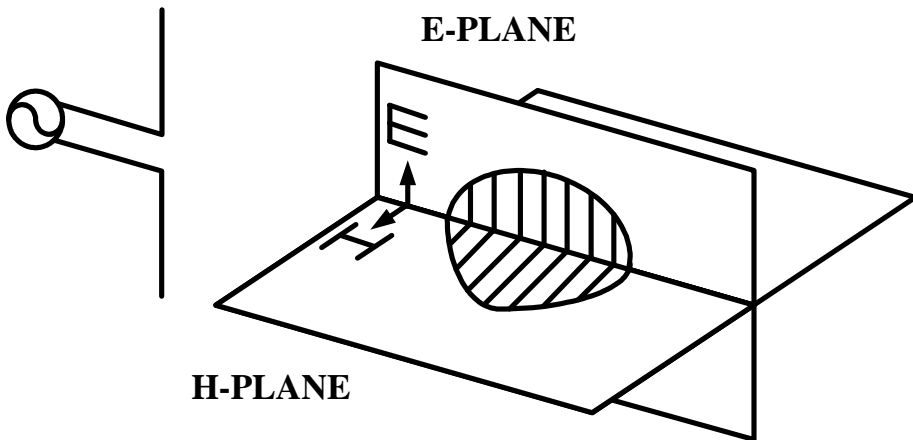


그림 2.3 전계면과 자계면의 정의  
Fig. 2.3 Definition of E-plane and H-plane.

측정에 의한 방사패턴은 한 평면에서 일정한 방향으로 안테나를 회전시키면서 수신된 전력의 레벨로 나타낸다. 이론 값에 가까운 방사패턴을 구하기 위해서는 전파암실에서 측정을 해야 하며, 전파암실이 없는 경우에는 안테나 측정 시스템 주변에 도체나 송신신호를 반사할 수 있는 물체가 없어야 한다. 그렇지 않으면 주위환경에 의한 오차가 발생할 수 있다.

그림 2.4는 제작된 안테나 방사패턴 측정 프로그램의 순서도를 나타낸다. 먼저 Microwave Receiver와 Positioner Controller의

GPIB address를 설정한다. GPIB를 이용하여 계측장비들을 연결할 경우에는 각각의 장비들이 0 ~ 30 사이의 독립된 address를 가지고 있어야 한다. 다음으로 측정된 방사패턴 그래프를 출력하기 위한 picture box의 초기설정을 하고, 사용자가 방사패턴을 측정할 안테나의 주파수와 시작·종료 각도를 입력한다. 다음으로 프로그램이 자동으로 Positioner의 회전축과 각도 offset을 설정하고, 앞에서 입력했던 Signal Generator의 출력 주파수와 Microwave Receiver의 측정시작·종료 각도가 자동으로 설정된다. 이때, Microwave Receiver는 피측정 안테나의 진폭과 위상을 출력하기 위해 dual channel로 설정된다. 그러면 모든 설정은 끝나고 피측정 안테나의 방사패턴을 측정하게 된다. 먼저 Positioner가 피측정 안테나를 측정 각도간격에 따라 회전시키고 Microwave Receiver가 각도별 진폭 측정치를 보여준다. 전 각도에서의 진폭, 위상 측정이 끝나면 Microwave Receiver는 PC로 측정치를 전송하고, PC는 수신한 측정치를 규격화 과정을 거쳐 text file과 심플한 그래프로 방사패턴 측정 결과를 출력한다[2].

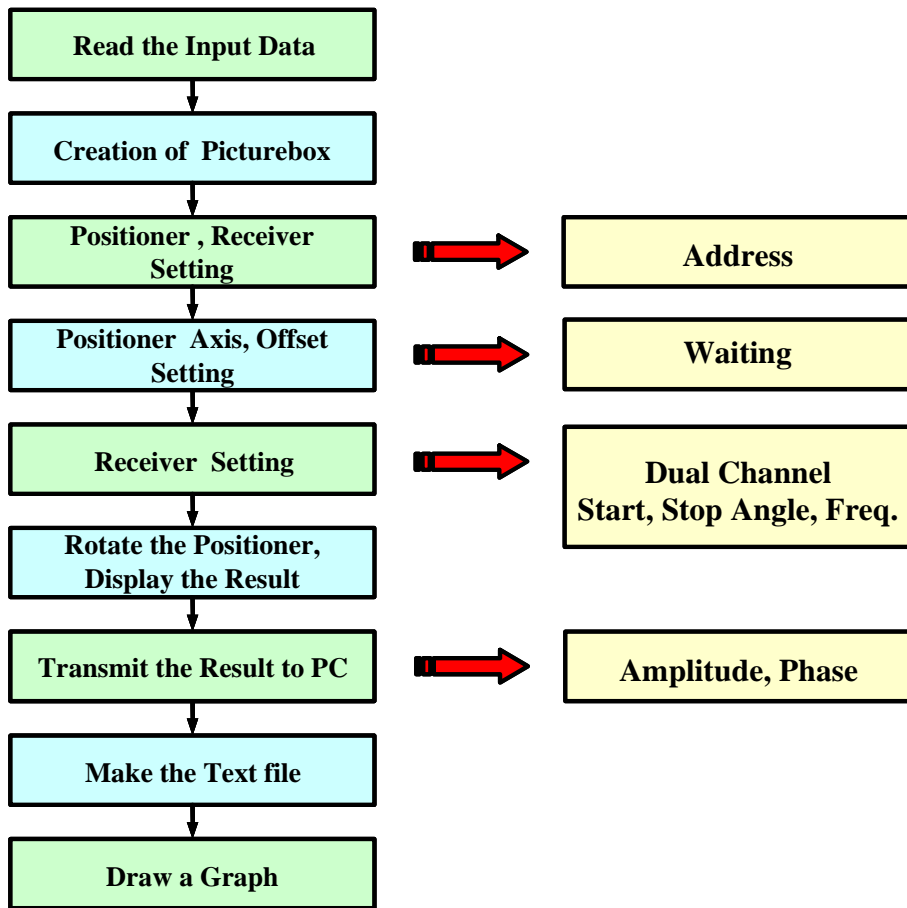


그림 2.4 방사패턴 측정 프로그램의 순서도

Fig. 2.4 Flowchart of radiation pattern measurement program.

그림 2.5는 위의 순서도를 이용하여 제작한 안테나 방사패턴 측정 프로그램의 실행결과를 나타낸다. 측정 주파수, 시작·종료 각도, Positioner의 offset, 측정각도간격 등을 사용자가 직접 입력하며, Positioner의 회전속도, 진폭과 위상출력 등을 설정할 수 있다. 방사패턴 측정 결과는 그래픽적으로 쉽게 확인할 수 있고, text file로도 저장할 수 있다.

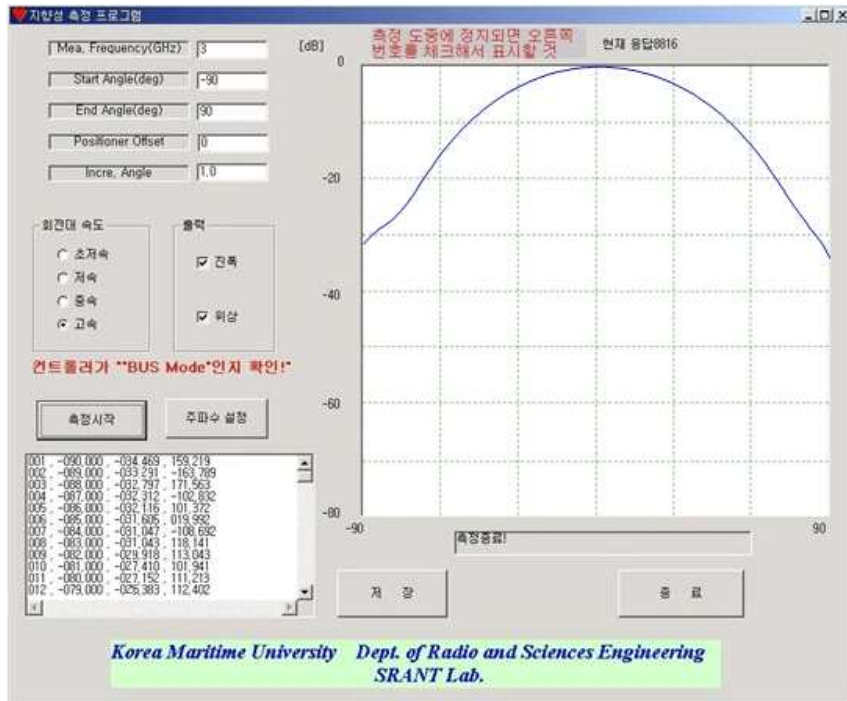


그림 2.5 방사패턴 측정 프로그램

Fig. 2.5 Radiation pattern measurement program.

원편파 안테나의 방사패턴을 측정하고자 할 경우에는 Spin Linear법을 이용하여 방사패턴을 측정할 수 있다. Spin Linear법은 송신안테나로 사용하는 직선편파 안테나를 피측정 안테나에 비하여 고속으로 회전시켜 원편파를 발생시키고, 이를 이용하여 피측정 안테나의 방사패턴을 측정하는 방법이다. Spin Linear법으로 측정된 방사패턴에는 많은 리플이 존재하고, 각각의 리플의 peak-to-peak 레벨로부터 피측정 안테나의 축비를 얻을 수 있다.

### 2.2.2 이득 측정 프로그램

안테나의 이득 측정방법은 몇 가지가 있으나 본 논문에서 제안된 안테나 이득 측정 프로그램은 이득비교 측정법을 사용하고 있고, 이는 전달이득 측정법으로 불리기도 한다. 이득비교 측정법에서 피측정 안테나의 이득을 측정하기 위해서는 정확한 이득 값이 알려진 표준 이득 안테나가 필요하다. 첫 번째로 표준이득 안테나를 수신안테나로 사용하여 정합된 부하에 대한 수신전력  $P_S$ 를 측정한다. 두 번째로 표준이득 안테나를 피측정 안테나로 교체하여 정합된 부하에 대한 수신전력  $P_T$ 를 측정한다. 이때, 송수신 안테나간의 기하학적 구조와 송신안테나의 입력 전력은 동일하게 유지되어 동일한 조건에서 실험이 이루어져야 한다. 이 방법은 표준 이득 안테나의 주파수별 이득만 알고 있으면 케이블 손실, 공간 손실 등의 인자를 전혀 고려할 필요가 없다는 장점이 있어 여러 가지 이득 측정 방법 중 가장 널리 이용되고 있다. 이와 같은 이득비교 측정법은 식 (2.1)과 같이 표현될 수 있다. 여기서  $(G_S)_{dB}$ 와  $(G_T)_{dB}$ 는 표준이득 안테나와 피측정 안테나의 이득이다[4][5].

$$(G_T)_{dB} = (G_S)_{dB} + 10 \log_{10} \left( \frac{P_T}{P_S} \right) \quad (2.1)$$

그림 2.6은 이득 측정 프로그램의 순서도를 나타낸다. 먼저 측정을 시작하면 측정과정이 끝날 때 까지 다른 실행버튼을 비 활성화 시켜서 프로그램이 오동작 하는 것을 막아준다. 다음으로 Microwave Receiver를 초기화시키고 이득 측정 시 주파수 sweep을 위해 CW Generator를 sweep mode로 설정한다. 그리고 CW Generator 각각의 주파수 포인트의 신호마다 위상고정을 시켜 정확



한 측정을 가능하도록 한다. 시작, 종료 주파수를 선택하고 시작, 종료 주파수 사이에 측정할 포인트 수를 설정한다. 다음으로 Frequency Converter에서 신호의 입력·출력포트를 설정하고 Microwave Receiver가 측정 데이터의 실수부와 허수부 모두를 PC로 전송하도록 설정한다. 여기서 얻어진 실수부와 허수부 데이터는 프로그램에서 수신전력을 계산한다. 이러한 과정을 거쳐 결과 측정된 데이터를 수신하고 이를 이득으로 변환하여, 심플한 그래프로 이득 측정 결과를 출력한다.

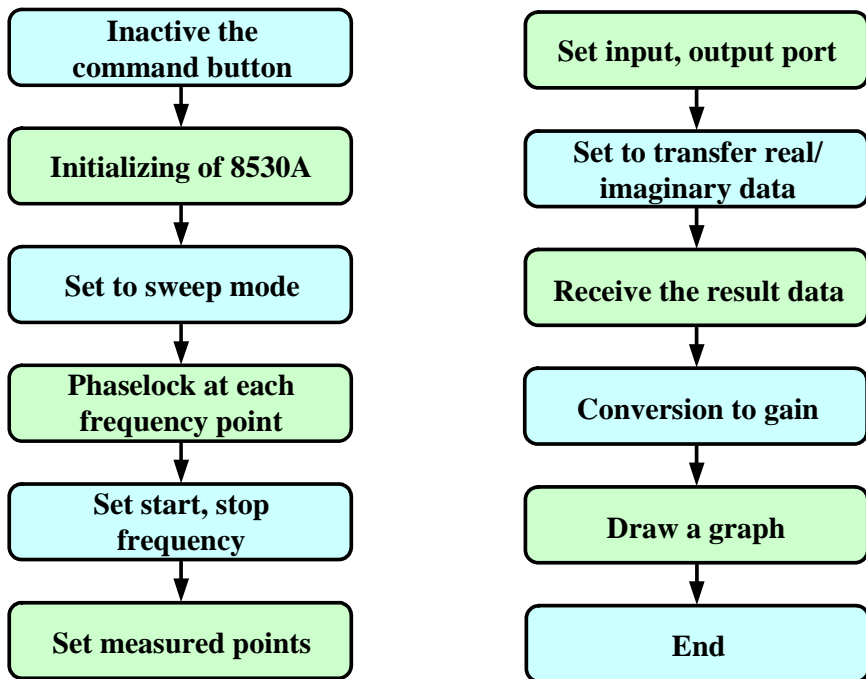


그림 2.6 이득 측정 프로그램의 순서도

Fig. 2.6 Flowchart of gain measurement program.

그림 2.7은 위의 순서도를 이용하여 제작한 안테나 이득 측정 프로그램의 실행결과를 나타낸다. 사용하고자 하는 표준안테나와 측

정 주파수, 그리고 측정 포인트 수를 설정하면 간단히 안테나 이득을 측정할 수 있다. 제안한 프로그램에서는 다섯 개의 표준안테나의 주파수별 이득을 프로그램에 입력하여, 피측정 안테나의 주파수에 맞는 표준안테나를 선택하여 이득을 측정할 수 있도록 프로그래밍하였다. 또한 이득 측정이 끝나면 측정 결과를 간단한 그래프로 쉽게 확인할 수 있다.

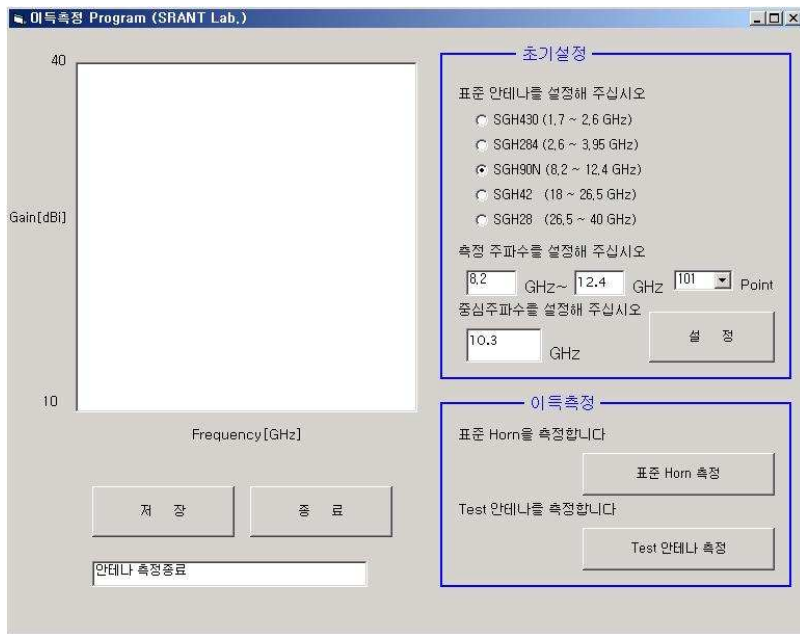


그림 2.7 이득 측정 프로그램

Fig. 2.7 Gain measurement program.

원편과 안테나의 이득을 측정하고자 할 경우에는 송신안테나인 직선편과 안테나의 수평, 수직 두 편파면에 대해 피측정 안테나의 이득을 측정하고 두 측정 결과를 합산함으로써 피측정 안테나의 이득을 구할 수 있다.

## 제 3 장 제작된 프로그램을 이용한 안테나 측정

### 3.1 안테나 방사패턴 측정

제작된 안테나 방사패턴 측정 프로그램의 검증을 위해 ASW용으로 사용하는 Sonobuoy 송신기의 방사패턴을 측정했다. Sonobuoy 송신기는 내부에  $\lambda/4$  수직접지 안테나를 사용하며,  $\lambda/4$  수직접지 안테나의 이론적인 방사패턴은 다이폴 안테나의 방사패턴과 동일하다. 그림 3.1은 Sonobuoy 송신기에서 사용하는  $\lambda/4$  수직접지 안테나의 방사패턴 측정 시스템을 나타낸다.

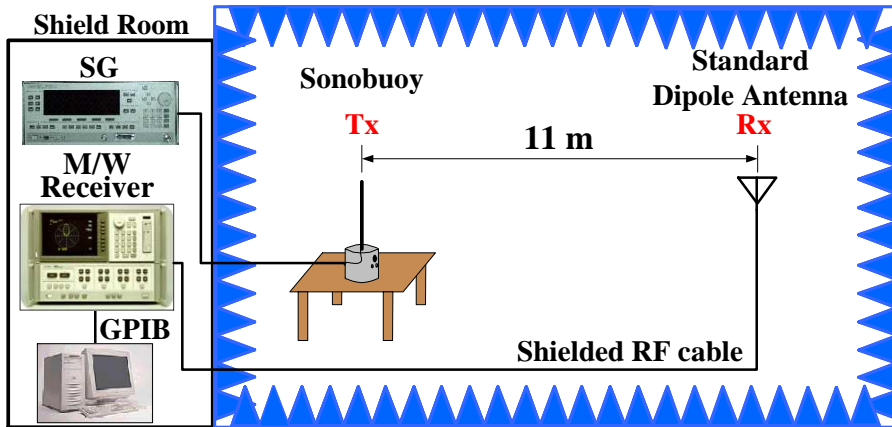


그림 3.1  $\lambda/4$  수직접지 안테나의 방사패턴 측정 시스템

Fig. 3.1 Radiation pattern measurement system of  $\lambda/4$  vertical ground plane antenna.

그림 3.2는 제작된 방사패턴 측정 프로그램을 이용하여 측정한  $\lambda/4$  수직접지 안테나의 수직편파 방사패턴 측정 결과를 나타낸다. 수직편파 방사패턴 측정결과  $\lambda/4$  수직접지 안테나는  $0^\circ$ 에서 최대치

를 얻었고, 90°에서 null point를 가져 전형적인 수직점지 안테나의 방사패턴을 얻을 수 있었다. 따라서 제작된 방사패턴 측정 프로그램이 잘 동작함을 확인할 수 있었다.

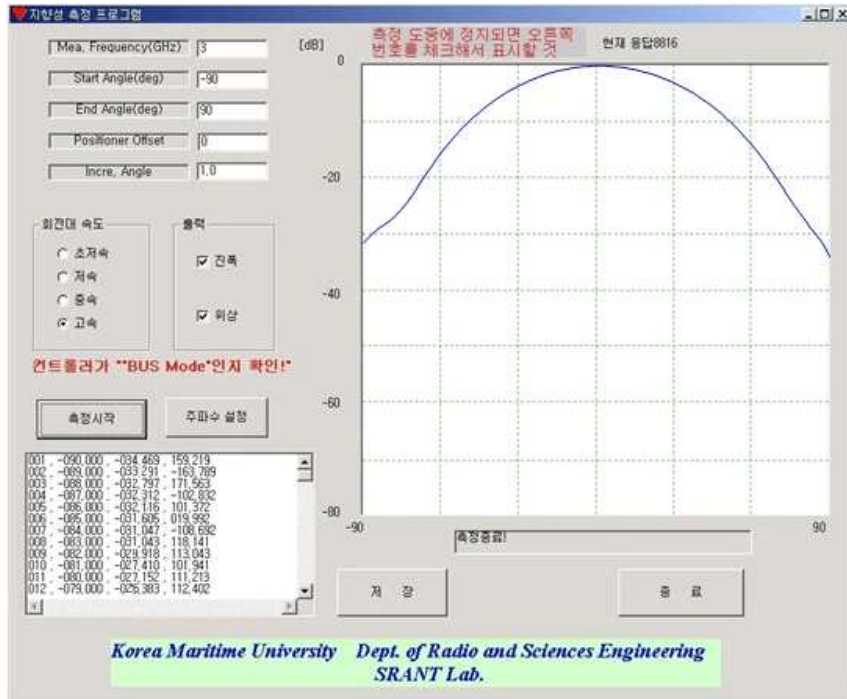


그림 3.2 수직편파 방사패턴 측정 결과

Fig. 3.2 Measurement result of radiation pattern.

### 3.2 안테나 이득 측정

제작된 안테나 이득 측정 프로그램의 검증과 이득 측정방법의 타당성을 확인하기 위해 2 GHz대의 sleeve 안테나와 8.2 ~ 12.4 GHz대의 horn 안테나의 이득을 각각 측정하였다.

그림 3.3과 3.4는 각각 제안한 직선편파 안테나 이득 측정 프로

그랩의 검증을 위한 2 GHz대의 sleeve 안테나의 이득 측정환경과 sleeve 안테나의 이득 측정결과를 나타낸다. 송신안테나로는 Rohde & Schwarz사의 HF906 ridged horn 안테나를 사용하였고, 이득 비교를 위한 표준 안테나로는 1.7 ~ 2.6 GHz의 대역을 가지는 Orbit사의 SGH430 horn 안테나를 사용하였다. 또한 송수신안테나 사이의 거리는 3 m로 Far-Field 조건을 충분히 만족하도록 하였다. Sleeve 안테나의 이득 측정결과 2 GHz 대역에서 안테나의 이득이 높아 2 GHz 대역에서 잘 동작함을 확인할 수 있다[6][7].

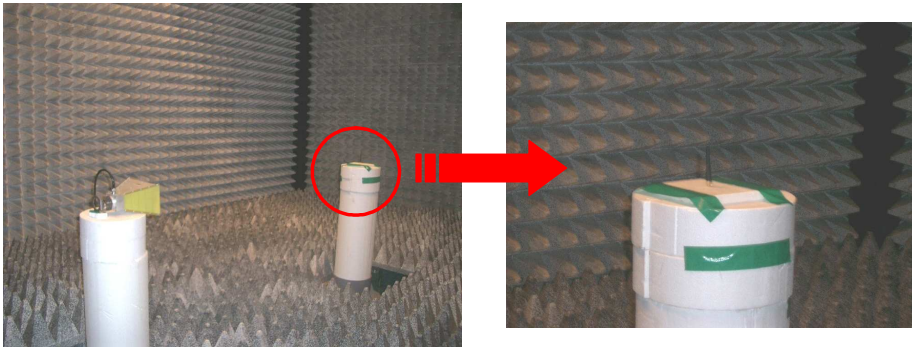


그림 3.3 Sleeve 안테나의 이득 측정

Fig. 3.3 Gain measurement of sleeve antenna.

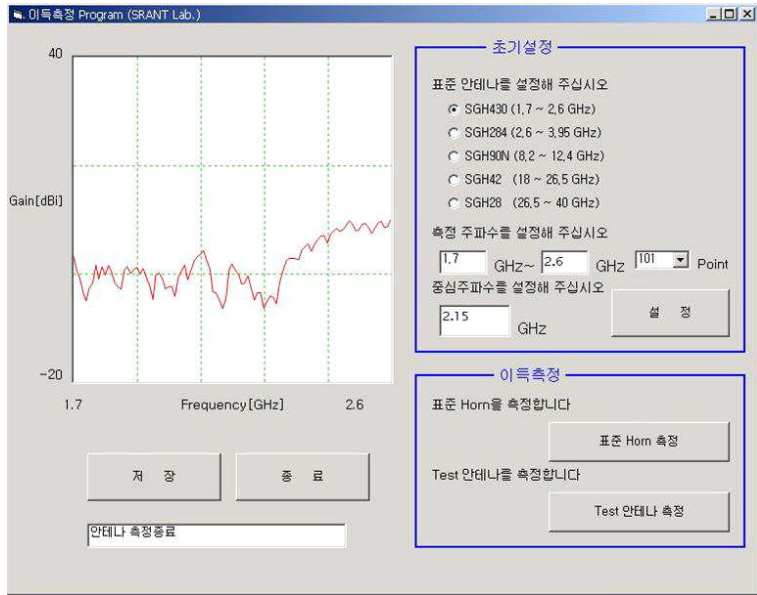


그림 3.4 Sleeve 안테나의 이득 측정결과

Fig. 3.4 Gain measurement result of sleeve antenna.

그림 3.5와 3.6은 Flann Microwave사의 8.2 ~ 12.4 GHz대의 16240A horn 안테나의 이득 측정환경과 horn 안테나의 이득 측정결과를 나타낸다. 송신안테나로는 Rohde & Schwarz사의 HF906 ridged horn 안테나를 사용하였고, 이득 비교를 위한 표준 안테나로는 8.2 ~ 12.4 GHz의 대역을 가지는 Orbit사의 SGH90N horn 안테나를 사용하였다. 또한 송수신안테나 사이의 거리는 3 m로 Far-Field 조건을 충분히 만족하도록 하였다[8].

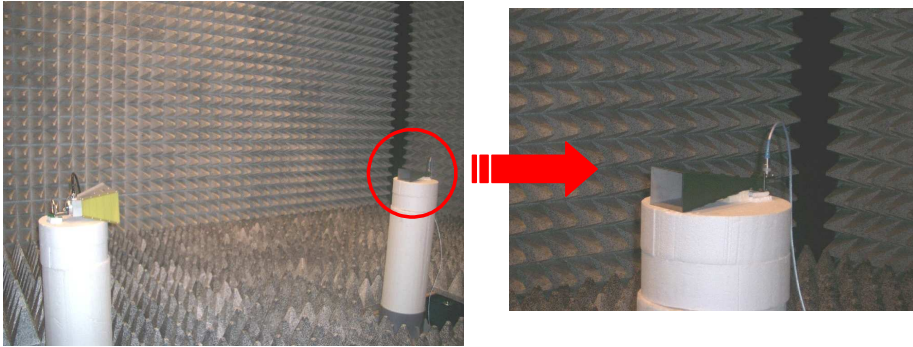


그림 3.5 Horn 안테나의 이득 측정

Fig. 3.5 Gain measurement of horn antenna.

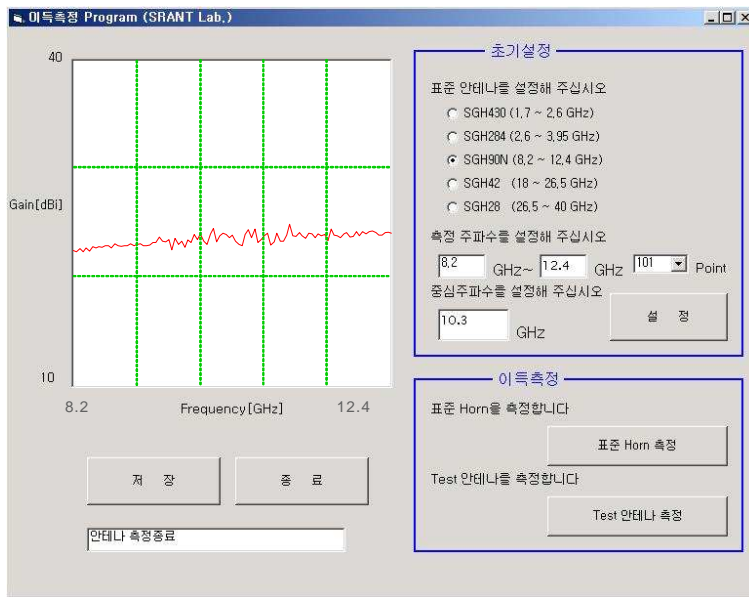


그림 3.6 Horn 안테나의 이득 측정결과

Fig. 3.6 Gain measurement result of horn antenna.

Horn 안테나의 이득 측정결과 전 주파수 대역에서 20 dB 이상의 이득을 보였다. 이것은 horn 안테나 제조사[9]가 제공하는 이득

과 비교하였을 때, 측정된 이득이 잘 일치함을 보였다. 따라서 제안한 이득 측정 프로그램이 타당함을 확인할 수 있었다.



## 제 4 장 Sonobuoy 송신기의 측정

안테나 측정의 하나의 예로 Sonobuoy 송신기의 특성을 측정하기 위한 시스템을 구축하고, 측정 전용 소프트웨어를 제작하였다. 먼저 안테나의 방사패턴, 전력밀도, 출력강하 등을 측정하였다. 또한 측정된 데이터를 컴퓨터에 입력하였을 때, 이를 그래프로 쉽게 알 수 있도록 하는 프로그램을 GUI 방식으로 구현하였다. 최종단계에서는 측정된 데이터를 컴퓨터 프로그램에 입력함으로써 실험치를 시각화시켜 측정결과를 평가할 수 있도록 하였다. 또한 반복실험을 통하여 Sonobuoy의 특성을 검증·보완하였다.

### 4.1 Sonobuoy 송신기의 개요

그림 4.1은 해상에서 사용되는 Sonobuoy의 개념을 나타낸다. 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 스스로 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 Military Specification에서 정한 VHF

대를 사용하게 된다[10].

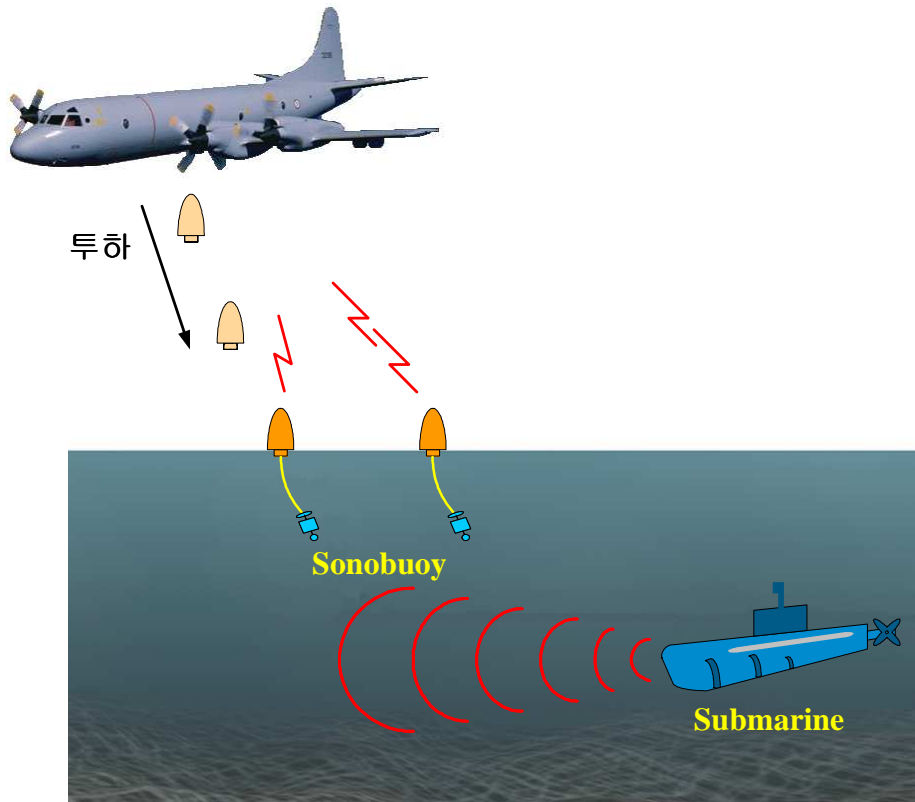


그림 4.1 Sonobuoy 송신기의 개념

Fig. 4.1 Concept of Sonobuoy transmitter.

이 시스템에 사용되는 VHF(136 MHz ~ 173.5 MHz)대 주파수 spectrum의 통신기술적인 면에서 살펴보면, 대역이 조밀하고 대역폭이 좁다고 할 수 있다. 또한 대기잡음도 비교적 큰 편이고 빔 폭도 넓다는 것이 제약 조건이나 마이크로파 주파수의 적용기술보다도 오히려 쉬울 뿐 아니라 제작비용이 적게 든다는 장점이 있다. 즉 양호한 이동표적탐지(MTI)를 위한 안정성 있는 발진기와 송신장치에는 이보다도 높은 주파수 대역의 것보다도 제작이 쉽고 또 주파수

가 증가함에 따라 이동물체의 탐지효과를 제한하는 불감속도(Blind Speed)에 대해서도 상대적으로 강하다는 장점들이 있다. 또한 강우로부터 반사도 이 주파수 대역에서는 문제가 되지 않으며, 해면과 같이 양호한 반사표면에서의 수평편파는 직접파와 표면에서 반사된 반사파와의 사이에 일어난 보강간섭 현상이 실제에 있어서 항공기의 최대 탐지거리(자유공간 거리의 2배 정도)를 증가시키는 결과를 가져온다. 한편 보강간섭에 의한 탐지거리의 증가 현상은 다른 탐지 고각에서 볼 때는 오히려 널(Null)이 생겨 감쇠현상이 일어나는 결과를 초래하기도 한다. 따라서 이 주파수 대역은 인공위성의 탐지와 같은 장거리용이나 제작비가 저렴한 저가 레이더에 적합하다. 이 주파수에 적합한 안테나로는 여러 종류가 있으나 본 연구에서는 리액턴스를 장대한 선형안테나를 고려하였고 안테나를 포함한 송신시스템의 특성을 측정하여 성능을 분석하고 안정적으로 동작이 될 수 있도록 보완하였다[11].

## 4.2 Sonobuoy 송신기의 측정 환경

### 4.2.1 Sonobuoy 송신기의 측정 시스템 구성

전파암실에서 VHF대 주파수를 가지는 안테나시스템의 방사패턴을 측정하기 위해서는 대형의 전파암실이 필요하다. 그 이유는 Far-Field에서 복사패턴을 측정하게 되므로 Far-Field에 적합한 암실의 크기가 요구되기 때문이다. 식 (4.1)은 Far-Field를 만족시키는 송수신 안테나간의 거리를 나타내는 식으로 암실의 크기, 즉 송수신 안테나 사이의 거리는 안테나의 크기와 사용주파수에 의존한다.

$$R \geq \frac{2 \times D^2}{\lambda} \quad (4.1)$$

여기서  $R$ 은 송수신안테나간의 거리,  $D$ 는 안테나의 표면적,  $\lambda$ 는 파장에 해당된다[12][13]. 따라서 이 식을 이용하여 본 측정에 필요한 전파암실내의 송수신안테나간 거리를 정리해 보면 표 4.1과 같다.

표 4.1 전파암실내의 송수신안테나간 거리

Table 4.1 Distance between transmitting antenna and receiving antenna in anechoic chamber.

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

여기서 송수신안테나는 수직접지형 선형안테나로 길이는 46 cm 이고 전체의 측정주파수에 대해 일정한 크기를 가진다. 또한 수신안테나는 반파장 표준다이폴 안테나를 사용하였으며, 수신안테나의 표면적  $D = 2\pi r(l + r)$ 로 계산되었다. 또한 반지름  $r = 0.5$  cm로 일정하고,  $l$ 는 반파장으로 계산되었다.

따라서 송수신안테나간의 거리는 10.95 m를 넘어야 하며, 이를 만족하는 전파암실에서 측정이 이루어져야 한다. 본 연구를 위해 사

용된 전파암실내의 송수신안테나간 거리는 11 m로 하여 Far-Field를 만족하게 하였다. 또한 Military Specification에서 정한 주파수대가 136 ~ 173.5 MHz이므로, 가장 낮은 주파수인 136 MHz, 가장 높은 주파수인 173.5 MHz 그리고 중심주파수인 154 MHz에서 Military Specification에 따른 Sonobuoy 송신기의 특성을 측정하였다. 그림 4.2는 전파암실 내에서 Sonobuoy 송신기를 측정하기 위한 시스템 구성도를 보이고 있다. Sonobuoy 송신기를 전파암실에서 측정하는 이유는 전파암실이 아닌 곳에서 측정을 행하게 되면 Sonobuoy 송신기가 가지는 정확한 특성을 알 수 없기 때문이다. 따라서 전파환경이 매우 양호하고 다른 전자파의 영향도 제거할 수 있는 전파암실에서 측정하였다. 측정을 위해 설치된 송수신 안테나 사이의 거리는 11 m이고, 실드된 제어실에서 Microwave Receiver를 통하여 수신된 신호를 컴퓨터에 입력하여 방사패턴을 그리게 하였다.

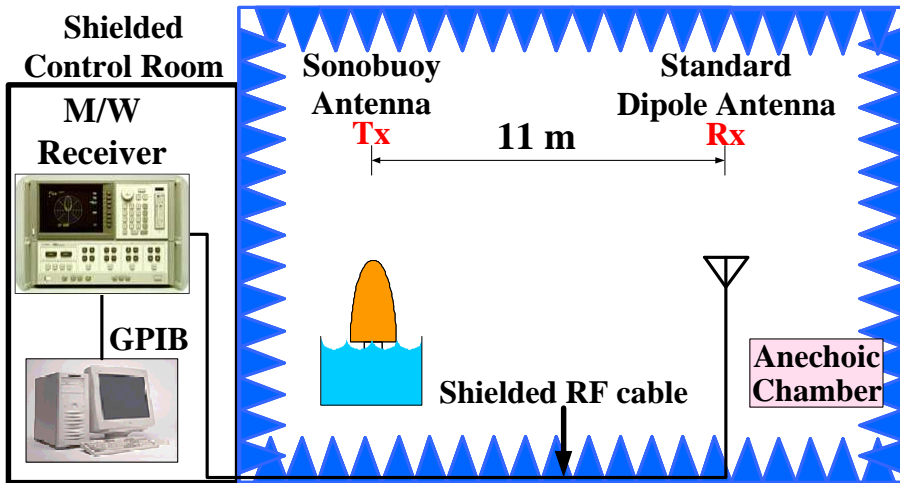


그림 4.2 Sonobuoy 측정을 위한 시스템 구성도

Fig. 4.2 System Configuration for Sonobuoy measurement.

## 4.2.2 Sonobuoy 안테나의 구조

그림 4.3은 Sonobuoy 안테나의 구조를 나타낸다. 이 안테나는 수직접지형 안테나로 안테나의 길이는 46 cm로 고정되어 있으며, 인덕턴스 (L)을 이용하여 저주파수에서의 안테나의 길이를 연장하는 효과를 얻고 있고, 커패시턴스 (C)를 이용하여 안테나의 길이를 줄이는 효과를 얻어 고주파에서 공진하도록 하였다. 제작된 안테나의 기저부에는 종단저항 82  $\Omega$ 을 주었고, 34 pF의 커패시터와 63 nH의 LC 매칭회로를 추가하여 임피던스 정합을 시켜주고 있다. 또한 선형안테나의 길이를 지면에 수직방향으로 세우고 물 위로 부상시키기 위해 풍선에 개스를 주입하여 안테나의 높이를 유지한다. 이 풍선은 안테나의 레이돔 역할을 겸하고 있다.

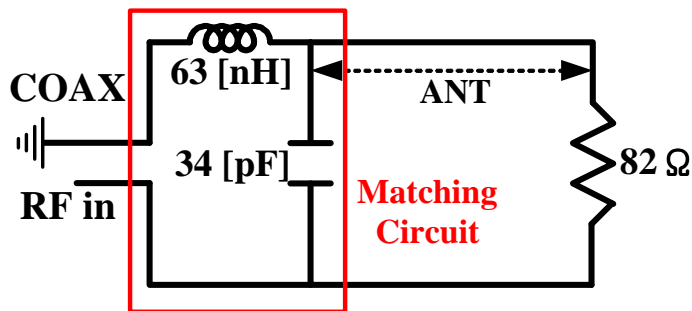
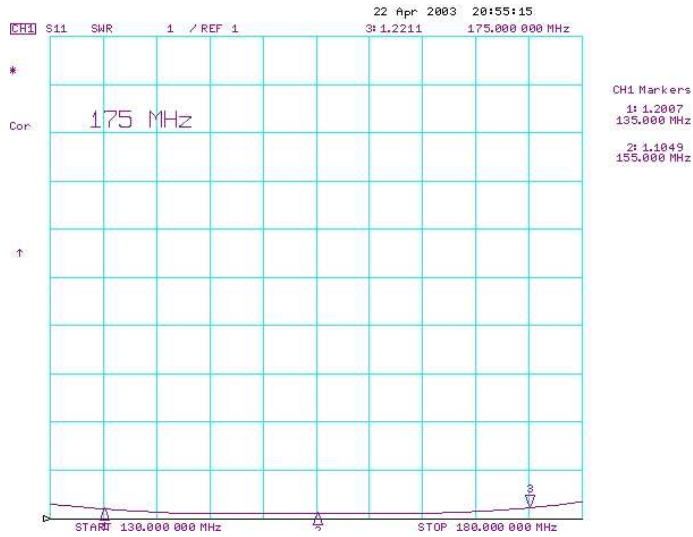


그림 4.3 Sonobuoy 안테나의 구조

Fig. 4.3 Structure of Sonobuoy antenna.

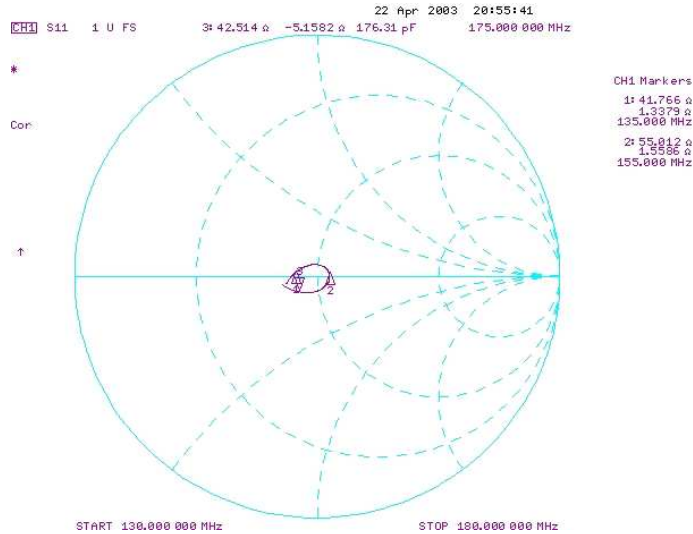
그림 4.4는 Network Analyzer로 측정된 Sonobuoy 안테나의 SWR과 임피던스를 나타낸다. 그림 4.4 (a)에서 Sonobuoy 안테나는 135 MHz에서 1.2, 155 MHz에서 1.1, 175 MHz에서 1.22로 전주파수 대역에서 좋은 SWR 특성을 가지고 있음을 알 수 있다. 또한 그림 4.4 (b)의 임피던스 측정결과 135 MHz에서  $41.77+j1.34$  [ $\Omega$ ], 155

MHz에서  $55+j1.56$  [ $\Omega$ ], 175 MHz에서  $42.5-j1.56$  [ $\Omega$ ]의 값을 얻을 수 있었고, 이는 전 주파수 대역에서 50  $\Omega$ 에 근접한 값을 나타내어 Sonobuoy 안테나가 광대역의 좋은 특성을 가짐을 확인할 수 있다 [14].



(a) Sonobuoy 안테나의 정재파비

(a) SWR of Sonobuoy antenna



(b) Sonobuoy 안테나의 임피던스 커브

(b) Impedance of Sonobuoy antenna

그림 4.4 Sonobuoy 안테나의 정재파비와 임피던스 커브

Fig. 4.4 SWR and impedance of Sonobuoy antenna.

### 4.2.3 Sonobuoy 송신기 측정 프로그램

Sonobuoy 송신기의 측정은 미국의 Military Specification을 적용하므로 Military Specification의 항목에 따라 측정을 행하는 Sonobuoy 송신기 측정 프로그램을 제작하였다. 이 프로그램은 전파 암실에서 측정된 Sonobuoy의 방사패턴을 가시적이고 알기 쉬운 그래프로 확인할 수 있다. 이 프로그램은 Microsoft Visual Basic 6.0을 이용하여 프로그래밍 하였으며, 하나의 프로그램 내에서 수평편파와 수직편파 각각의 방사패턴 그래프를 볼 수 있도록 프로그램을 구성하였다. 그림 4.5는 개발한 프로그램의 초기화면을 나타낸다. 프로그램을 시작하면 그림 4.5와 같은 작은 창이 하나 뜨고, 수평편파와 수직편파 중 하나를 선택하도록 되어있다. 수평편파의 경우 측정



각도간격을 자유롭게 설정할 수 있다. 수직편파의 경우는 1°, 2.5°, 5°의 측정각도간격 중 선택할 수 있도록 프로그래밍 하였다.



그림 4.5 방사패턴 측정 프로그램

Fig. 4.5 Radiation Pattern Measurement Program.

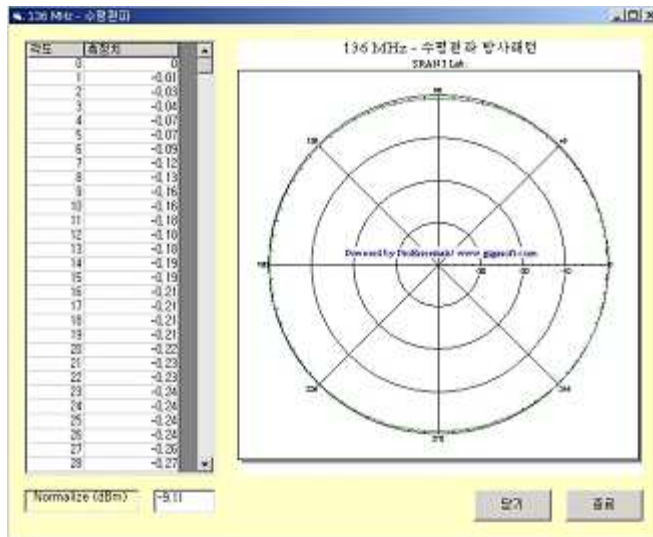
그림 4.6은 Sonobuoy 송신기의 수평편파 방사패턴 측정을 위한 프로그램의 구성을 보여준다. 측정주파수, 수신안테나 회전각도, Positioner의 offset, 측정각도간격 등을 설정한다. 또한 Positioner의 회전속도와 출력 데이터 형식을 설정하면 자동적으로 방사패턴 측정을 가능하게 한다.



그림 4.6 수평편파 측정 프로그램의 구성

Fig. 4.6 Configuration of horizontal polarization measurement program.

그림 4.7은 136 MHz, 154 MHz, 173.5 MHz에서 측정한 Sonobuoy 송신기의 수평편파 방사패턴 측정 결과를 보여준다. 0°에서 360° 까지 각도별 수신레벨을 계측기로부터 컴퓨터가 받아들이고, 측정치 중 최대치를 자동으로 찾아 규격화를 시킨다. 또한 규격화된 기준치를 좌측 하단에 출력하여 실제 각도별 수신레벨을 알 수 있도록 프로그래밍 하였다. 이와 같이 각도별로 규격화된 측정치는 결과화면 좌측에 나타나고 이를 이용하여 우측에 심플한 방사패턴을 출력한다. Sonobuoy 송신기의 전 주파수에서의 방사패턴 측정 결과 빔 패턴이 전 방향에서  $\pm 1.0$  dB 이내에 존재해야 한다는 Military Specification을 충분히 만족함을 확인할 수 있다.



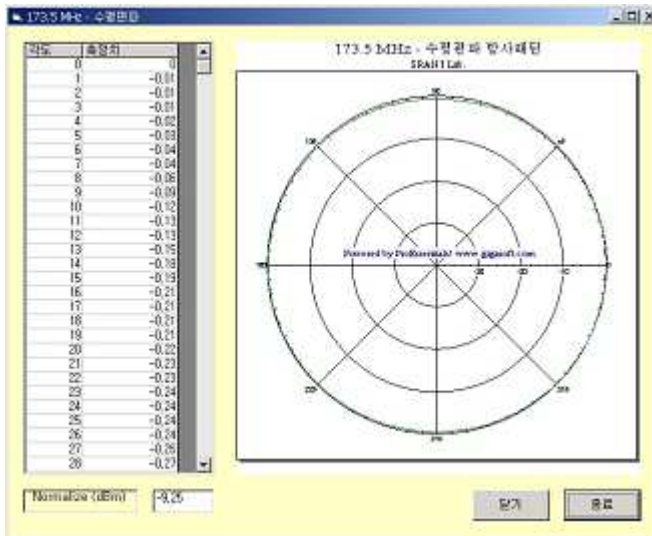
(a) 136 MHz 수평편파

(a) Horizontal polarization at 136 MHz



(b) 154 MHz 수평편파

(b) Horizontal polarization at 154 MHz



(c) 173.5 MHz 수평편파

(c) Horizontal polarization at 173.5 MHz

그림 4.7 Sonobuoy 송신기의 수평편파 방사패턴

Fig. 4.7 Radiation pattern of horizontal polarization.

그림 4.8은 Sonobuoy 송신기의 수직편파 방사패턴 측정을 위한 프로그램의 구성을 보여준다. 먼저 측정주파수를 선택하고, 측정각도간격을 1°, 2.5°, 5° 중 하나를 선택하도록 프로그래밍 하였다. 수직편파 측정의 경우 현재 보유하고 있는 Positioner가 수신안테나의 Elevation 방향 회전을 할 수 없어, 이를 위해 Rotator를 사용한다. 따라서 수직편파를 측정할 때에는 반드시 Rotator의 회전각도간격을 설정해주어야 한다.

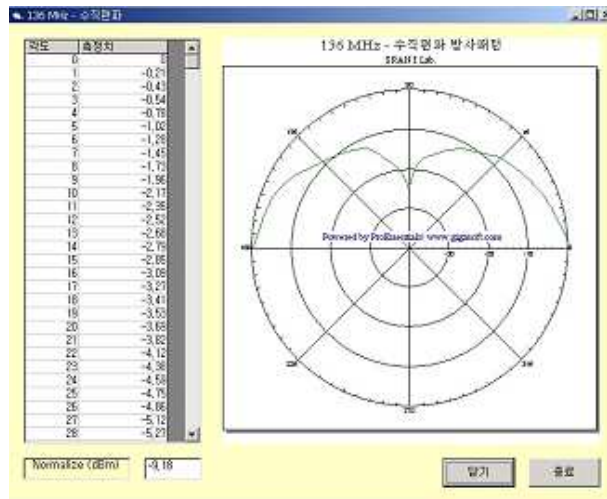


그림 4.8 수직편파 측정 프로그램의 구성

Fig. 4.8 Configuration of vertical polarization measurement program.

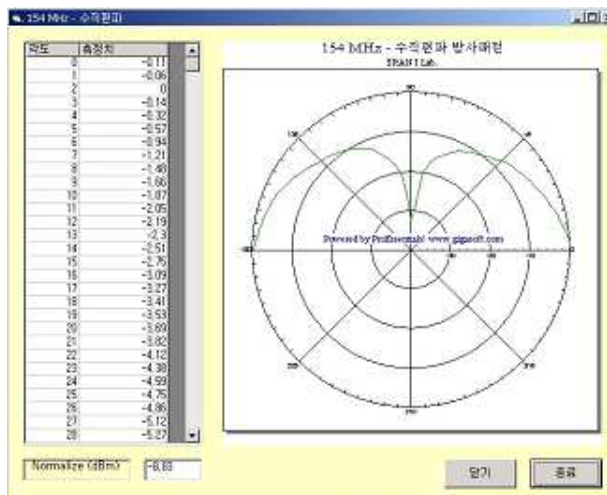
그림 4.9는 136 MHz, 154 MHz, 173.5 MHz에서 측정한 Sonobuoy 송신기의 수직편파 방사패턴 측정 결과를 보여준다. 수직편파도 수평편파 방사패턴 측정과정과 마찬가지로 0°에서 180° 까지 각도별 수신레벨을 계측기로부터 컴퓨터가 받아들이고, 측정치 중 최대치를 자동으로 찾아 규격화를 한다. 여기서 Sonobuoy 송신기는 실제 해상에서 사용할 경우 해수면 윗 부분의 패턴만이 필요하므로 수직편파 방사패턴 측정의 경우 180° 까지만 측정하도록 프로그래밍 하였다. 또한 규격화된 기준치를 좌측 하단에 출력하여 실제 각도별 수신레벨을 알 수 있도록 프로그래밍 하였다. 이와 같이 각도별로 규격화된 측정치는 결과화면 좌측에 나타나고 이를 이용하여 우측

에 샘플한 방사패턴을 출력한다. Sonobuoy 송신기의 전 주파수에서의 방사패턴 측정결과 빔 패턴이 Military Specification을 충분히 만족함을 확인할 수 있다.



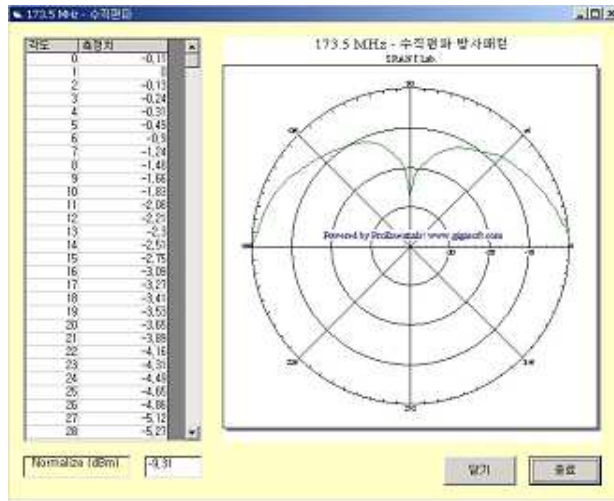
(a) 136 MHz 수직편파

(a) Vertical polarization at 136 MHz



(b) 154 MHz 수직편파

(b) Vertical polarization at 154 MHz



(c) 173.5 MHz 수직편파

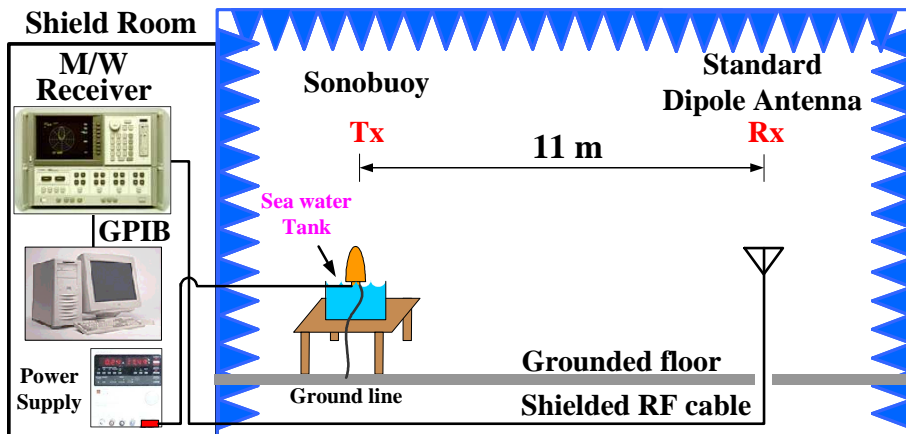
(c) Vertical polarization at 173.5 MHz

그림 4.9 Sonobuoy 송신기의 수직편파 방사패턴

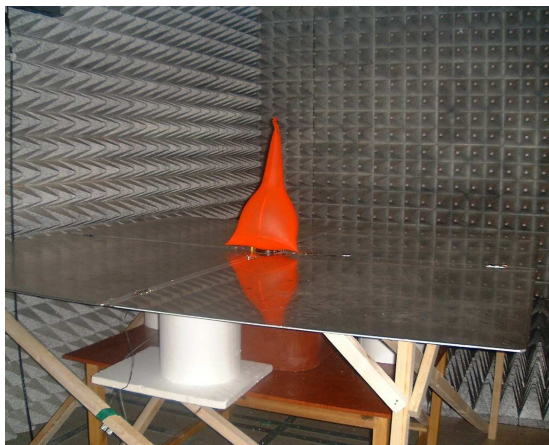
Fig. 4.9 Radiation pattern of Vertical polarization.

### 4.3 Sonobuoy 송신기의 특성 평가

그림 4.10의 (a), (b)는 Military 3.6.3에 근거하여 전과암실에서 Sonobuoy 안테나를 측정하기 위한 구성도 및 측정에 사용된 안테나를 장착한 Sonobuoy 송신기의 사진이다. Sonobuoy 송신기는 해수면으로부터의 반사효과를 얻기 위해 대형 접지판을 설치하여 실제의 바다 환경과 유사한 반사효과를 조성하였다. 송신기로 사용되는 Sonobuoy 안테나는 Power Supply에 의해 17.5 V의 전원을 공급해 주고, 반파장 표준 다이폴 안테나는 실드된 RF 케이블로 Microwave Receiver에 연결되어 수신된 신호레벨을 보여준다.



(a) Sonobuoy 송신기의 측정 시스템 구성도  
 (a) System configuration for measurement of Sonobuoy transmitter



(b) Sonobuoy 송신기  
 (b) Sonobuoy transmitter

그림 4.10 Sonobuoy 송신기의 측정 시스템과 측정에 사용된 Sonobuoy 송신기

Fig. 4.10 Measurement system of Sonobuoy and Sonobuoy transmitter used in measurement.

### 4.3.1 방사패턴

그림 4.10 (a)와 같은 환경에서 Sonobuoy 송신기의 방사패턴을 측정하였다. 측정 주파수 대역은 Military Specification에서 정한 136 ~ 173.5 MHz이고, Elevation Angle의 범위는 해수면을 고려하여 0° ~ 180°까지로 하였다. 또한 해수면의 반사효과를 위해 대형 접지판을 설치하여 실제의 바다 환경과 유사한 반사효과를 조성하였다.

표 4.2는 Military Specification 3.6.3.1과 측정된 Sonobuoy 송신기의 수직편파 패턴으로부터 얻은 결과를 비교하고 있다. 표로부터 알 수 있는 것처럼, Sonobuoy 송신기는 Military Specification 3.6.3.1을 만족할 뿐만 아니라 보다 우수한 특성을 보이고 있다. 그림 4.11은 최저주파수 136 MHz와 중심주파수 154 MHz 그리고 최고주파수 173.5 MHz에서 측정된 수직편파 패턴으로 모두 양호한 특성을 보이며, 90°에서 -25 dB이상의 Null Point를 가짐을 관찰할 수 있었다.

표 4.2 수직편파 측정 결과

Table 4.2 Measurement result of vertical polarization.

	0.5° ~ 3°	3° ~ 15°	15° ~ 60°	90°
MIL 3.6.3.1	-16 dB 이상	-3 dB 이상	-12 dB 이상	-20 dB 이하
Sonobuoy transmitter	-3 dB 이상	-3 dB 이상	-12 dB 이상	-25 dB 이하



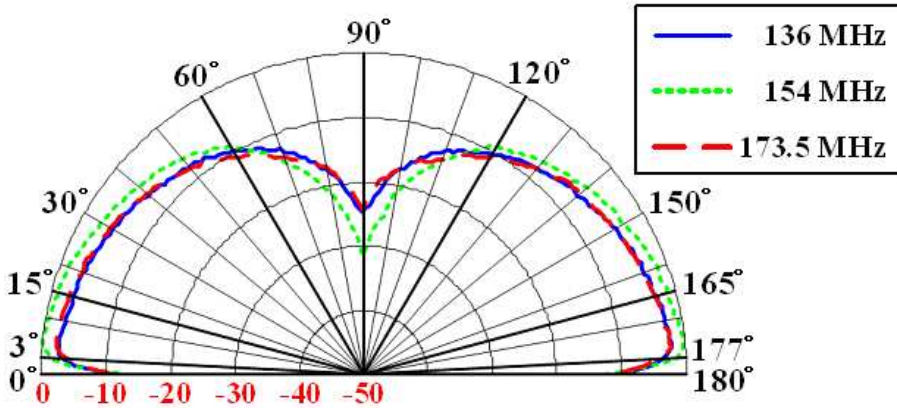


그림 4.11 Sonobuoy 송신기의 수직편파 방사패턴  
 Fig. 4.11 Radiation pattern of vertical polarization.

표 4.3은 Military Specification 3.6.3.2와 측정된 Sonobuoy 송신기의 수평편파 패턴으로부터 얻은 결과를 비교하고 있다. 표로부터 알 수 있는 것처럼, Sonobuoy 송신기는 Military Specification 3.6.3.2를 만족하는 특성을 보이고 있다. 그림 4.12는 Military Specification 3.6.3.2에 근거하여 측정된 수평편파 방사패턴을 나타낸다. 측정된 수평편파는 할당된 VHF 채널 주파수에서 무지향성을 보이며 빔의 크기는 최대치에 대하여  $\pm 0.85$  dB이내에 분포하여  $\pm 1.0$  dB이내인 Military Specification 3.6.3.2를 만족하고 있다.

표 4.3 수평편파 측정 결과

Table 4.3 Measurement result of horizontal polarization.

MIL 3.6.3.2	할당된 VHF 채널 주파수에서 수평편파는 수평방향으로 $\pm 1$ dB에 존재하여야 한다.
Sonobuoy transmitter	측정된 수평편파는 할당된 VHF 채널 주파수에서 수평방향으로 $\pm 0.85$ dB이내에 존재하므로 Military Specification 3.6.3.2를 만족하고 있다.

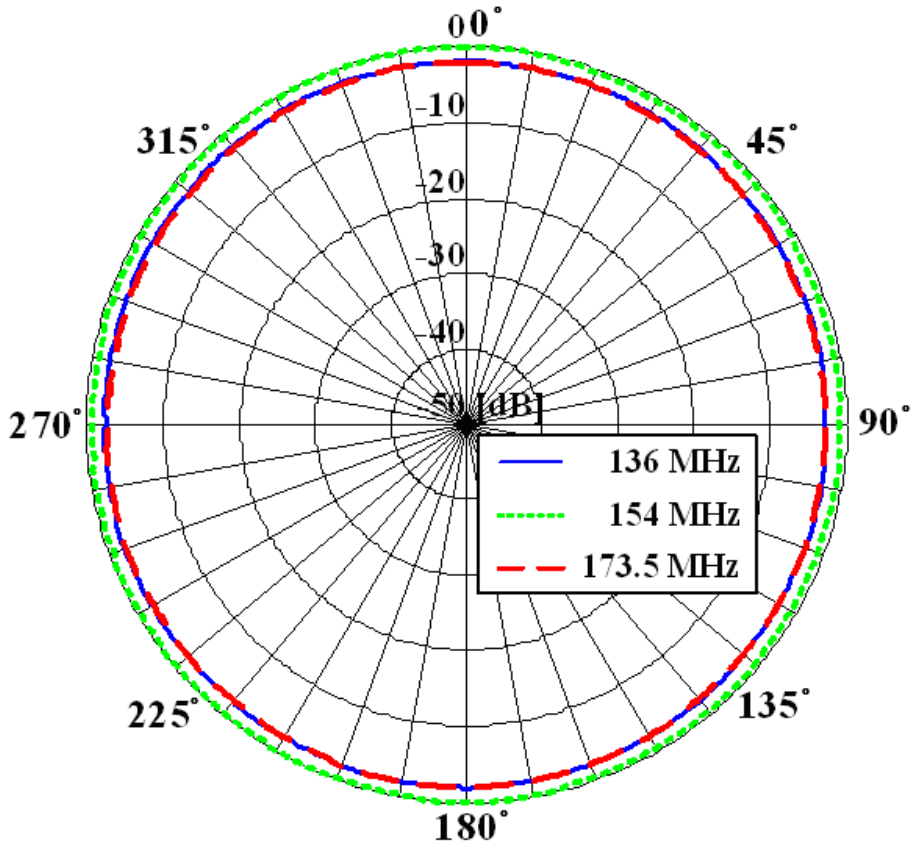


그림 4.12 Sonobuoy 송신기의 수평편파 방사패턴  
 Fig. 4.12 Radiation pattern of horizontal polarization.

#### 4.3.2 출력강하

Military Specification 3.6.4.3.1에서는 3° 이상의 양각에서 출력 강하가 일어났을 경우, 3초 이내에 출력이 본래의 신호레벨로 복원 되어야 한다고 정하고 있다. Sonobuoy 송신기를 해수에 입수시켰을 경우, 복원되는 속도는 Sonobuoy 송신기를 부상시켜 주는 풍선의 구조와 물 속으로 입수되는 Sonobuoy 송신기의 무게 및 무게중심의 위치와 밀접한 관계를 가지고 있다. 출력 강하로부터 복원되는 시간

을 측정하기 위해, 본 실험에서는 그림 4.13과 같이 Sonobuoy 송신기와 반파장 다이폴 수신안테나 사이를 1 m로 하고 5°, 10°, 15°, 20°의 각도로 Sonobuoy 송신기를 기울여 출력강하가 일어나는지를 실험하였다. Military Specification 3.6.4.3.1에서 규정한 3° 이상의 양각인 5° ~ 10° 사이에서는 출력강하가 일어나지 않았고, 10°를 넘어 설 때 출력이 강하되었다. 하지만 본래의 신호레벨로 복원되는 시간은 1초가 걸리지 않았다. 따라서 3° 이상의 양각에서 3초 이내에 출력이 본래의 신호레벨로 복원되어야 한다는 조건을 만족함을 확인하였다.

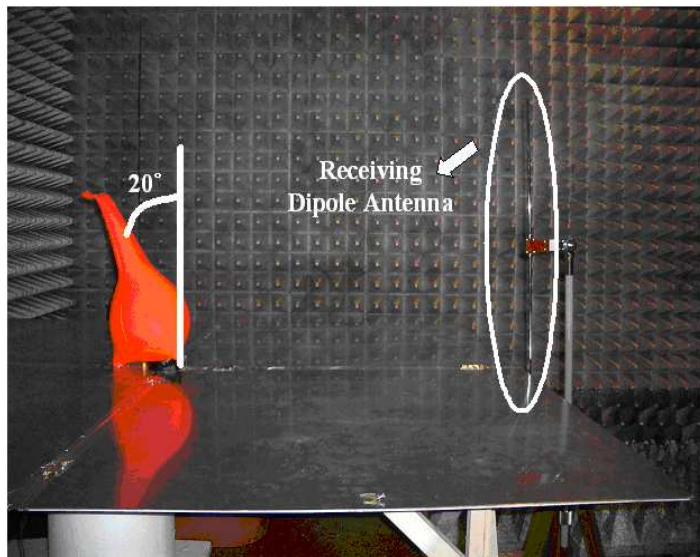


그림 4.13 Sonobuoy 송신기의 출력강하 측정  
Fig. 4.13 Drop out of Sonobuoy transmitter.

### 4.3.3 전력밀도

Military Specification 3.6.4.4에서 규정하는 송신기로부터 방사된 신호의 전력밀도를 측정하기 위하여 그림 4.14와 같이 Sonobuoy 송신기와 수신안테나의 거리를 1 m로 위치시키고, Main Beam이 최대가 되는 위치에서 수신되는 최대 전력밀도를 측정하였다. 전력밀도는 수신안테나와 연결된 Spectrum Analyzer의 수신신호레벨을 측정하였다.

이론적으로 송신안테나로부터 송신된 전력밀도를 알려면 전계강도를 먼저 계산하고, 계산된 전계강도를 이용하여 전력밀도를 구해야 한다. 수신단에서의 전계강도  $E$ 의 계산식은 식 (4.2)와 같으며,  $\Theta = 90^\circ$  에서 최대 전계강도를 가진다.

$$E_{\Theta} = \frac{\sqrt{30 \times P_t}}{d} \sin \Theta \text{ [ V/m ]} \quad (4.2)$$

여기서,  $P_t$ 는 송신전력,  $d$ 는 송·수신안테나 사이의 거리 [m]이다.

또한 반파장 다이폴 안테나로 수신할 때, 수신단에서의 전력밀도는 식 (4.3)과 같다.

$$P_r = \frac{E^2}{120\pi} \text{ [ W m}^2 \text{ ]} \quad (4.3)$$

예를 들어 송신전력  $P_t = 1$  [W]이고,  $d = 1$  [m]라고 하면, 수신단의 전력밀도  $P_r = 79.578$  [ $mW m^2$ ]이 된다. 또한

$P_t = 1$  [W]이고,  $d = 0.98$  [m]라면,  $P_r = 82.86$  [ $mW m^2$ ]이고,  $P_t = 1.05$  [W]이고,  $d = 0.98$  [m]라고 하면, 수신단의 전력밀도  $P_r = 85.6$  [ $mW m^2$ ]이 된다. 위의 계산 결과로부터 수신전력 밀도는 송신전력과 송수신단 사이의 거리에 매우 민감함을 알 수 있다. 따라서 Military Specification 3.6.4.4에서 규정하고 있는  $d = 1$  [m]의 시험거리에서 최소한  $P_r = 83$  [ $mW m^2$ ]를 할당된 주파수에서 얻으려면, 송신전력  $P_t = 1$  [W]이상이 되어야 한다.



그림 4.14 Sonobuoy 송신기의 전력밀도 측정

Fig. 4.14 Power density of Sonobuoy transmitter.

표 4.4는 그림 4.14의 측정환경에서 측정된 송신기로부터 방사된 신호의 전력밀도 값을 정리한 표이며, 그림 4.15는 측정된 방사 신호 전력밀도 그래프를 나타낸다. 표로부터 알 수 있는 것처럼 측정된 수신 전력밀도는 할당된 주파수 범위내에서 Military Specification 3.6.4.4에서 규정하는  $83$  [ $mW m^2$ ]를 모두 상회하여 Military Specification 3.6.4.4를 만족시키고 있음을 알 수 있다.

표 4.4 전력밀도 측정 결과

Table 4.4 Measurement result of power density.

채널	주파수	측정된 전력밀도		전원공급기	
		[dBm]	[mW]	전압[V]	전류[A]
32	136.000	20.5	112.1	17.5	0.25
38	138.250	20.4	110.9	17.5	0.25
43	140.125	20.6	113.8	17.5	0.25
48	142.000	20.4	110.8	17.5	0.25
54	144.250	20.5	113.5	17.5	0.25
59	146.125	20.6	114.7	17.5	0.25
64	148.000	20.7	116.2	17.5	0.25
70	150.250	20.8	119.8	17.5	0.25
75	152.125	20.9	123.1	17.5	0.25
80	154.000	21.0	124.9	17.5	0.25
86	156.250	21.0	127.2	17.5	0.25
91	158.125	20.9	122.7	17.5	0.25
96	160.000	20.8	119.6	17.5	0.25
1	162.250	20.7	118.3	17.5	0.25
19	164.125	20.6	114.7	17.5	0.25
6	166.000	20.6	115.2	17.5	0.25
9	168.250	20.5	111.4	17.5	0.25
27	170.125	20.4	108.9	17.5	0.25
14	172.000	20.3	107.2	17.5	0.25
16	173.500	20.2	105.3	17.5	0.25

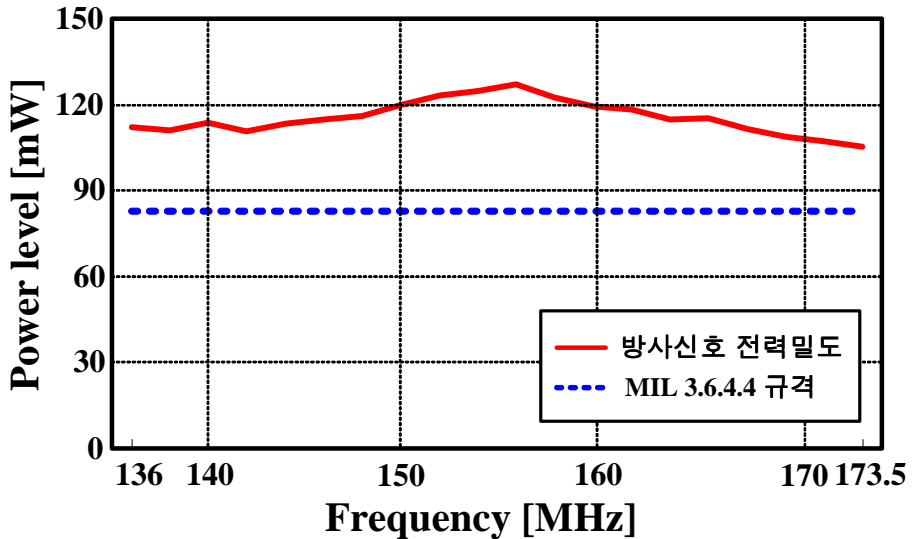


그림 4.15 전력밀도 측정 결과

Fig. 4.15 Measurement result of power density.

#### 4.3.4 Spurious 방사

Military 3.6.4.5에서는 VHF 반송파 주파수에서 방사되는 신호의 Main Lobe 전력밀도에 비하여 -40 dB 보다 큰 방사 스펙트럼 성분이 없어야 한다고 규정하고 있다. 이는 할당된 VHF 주파수에서 Spectrum Analyzer를 이용하여 Spurious 방사 스펙트럼의 성분이 어느 정도인가를 실험할 수 있다. Spurious 성분은 그림 4.11과 4.12의 수직편파 및 수평편파를 측정할 때 나타날 수 있으나, 그림 4.11과 4.12에서 보는 바와 같이 Main Lobe만 존재하고 Side Lobe가 없으므로 Spurious 성분은 나타나지 않는다. 또한 Spectrum Analyzer를 이용하여 안테나의 방사패턴을 측정할 때, 인접한 주파수에서 Spurious 성분이 나타날 수 있다. 하지만 본 실험에서는 그림 4.16과 같이 인접한 주파수로부터의 간섭이 전혀 없었기 때문에 Spurious 방사 스펙트럼 성분이 나타나지 않았다.

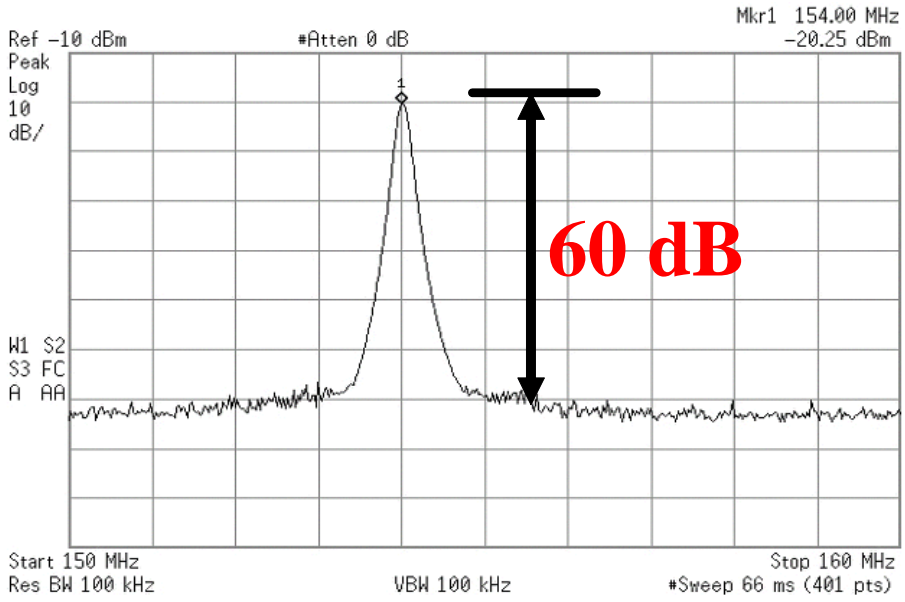


그림 4.16 Spurious 방사  
 Fig. 4.16 Spurious radiation.



## 제 5 장 결 론

본 논문에서는 전파암실에서 안테나 특성 측정을 할 수 있는 측정시스템을 구축하였으며, GPIB를 이용해 자동적으로 안테나 측정을 할 수 있는 안테나 측정 프로그램을 제작하였다. 또한 Military Specification에 따른 Sonobuoy 송신기의 특성을 측정하기 위해 Sonobuoy 송신기 측정 프로그램을 제작하고 그 특성을 평가하였다.

먼저 안테나 특성 측정을 위한 시스템을 구성하였고, GPIB를 이용하여 모든 계측장비와 PC를 연결하여 PC로 전체 시스템을 컨트롤할 수 있게 하였다. 또한 Microsoft Visual Basic 6.0을 이용하여 안테나 측정 과정을 자동으로 수행하는 안테나 측정 프로그램을 제안하였다. 제안된 안테나 방사패턴 측정 프로그램의 검증을 위해 Sonobuoy 송신기의 방사패턴을 측정하였고, 측정결과 제안된 프로그램은 Microwave Receiver 화면상의 결과와 일치하는 결과를 얻을 수 있었다. 또한 안테나 이득 측정 프로그램의 검증을 위해 2 GHz 대역의 sleeve 안테나와 8.2 ~ 12.4 GHz 대역의 horn 안테나의 이득을 측정하였다. 이득 측정 결과도 마찬가지로 Microwave Receiver 화면상의 결과와 일치하는 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 제안된 안테나 측정 프로그램은 그 타당성이 입증되었다.

또한 안테나 시스템 측정의 한 예로 해상용 Sonobuoy 송신기의 특성을 실험적으로 알아보고 측정된 결과들을 미국의 Military Specification과 비교함으로써 제작된 송신기의 성능을 평가하였다. 이를 위해 VHF 주파수에 적합한 측정환경을 전파암실 내에 구축하고 송신기의 성능을 실험하였다. 그 결과 송신기의 수직편파 및 수평편파의 방사패턴은 전형적인 수직접지 안테나의 특성을 나타내었다. 송신기의 출력 강하 측정에서는 3° 이상의 양각에서 출력강하가 일어났을 경우, 3초 이내에 출력이 본래의 신호레벨로 복원되어야

한다는 Military Specification을 만족시켰다. 송신기의 방사신호 전력밀도를 측정한 결과 할당된 주파수 범위 내에서  $83 [mWm^2]$ 를 모두 상회하였다. Sonobuoy 송신기의 Spurious 방사 스펙트럼 성분이  $-40$  dB이하로 억압되고 있는가에 대한 측정 결과, 할당된 주파수내에서 Spurious 성분은 나타나지 않았고, Spectrum Analyzer 상에서 측정된 잡음레벨도  $-60$  dB이하로 Military Specification을 만족시킴을 확인할 수 있었다. 따라서 Sonobuoy 송신기의 성능이 Military Specification을 만족할 뿐만 아니라 매우 양호한 특성을 가짐을 확인할 수 있었다.

## 참고 문헌

- [1] Hiroyuki Arai, *Measurement of Mobile Antenna Systems*, Artech House, 2001.
- [2] 민경식, 박영환, “안테나 특성 측정 프로그램의 개발에 관한 연구,” 춘계 마이크로파 및 전파전파 학술대회, pp. 463-466, 2004. 5.
- [3] 신헌철, 전광석, 신정록, *안테나공학실험*, 도서출판 광명, 2002.
- [4] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory*, John Willy & Sons, Inc, pp. 839-871. 1997.
- [5] W. H. Kummer, E. S. Gillespie, “Antenna Measurements,” *Proc. IEEE*, Vol. 66, No. 4, pp. 483-507, 1978. 4.
- [6] 민경식, 임경우, 고지원, 박철근, 최재훈, 이경학, “도래방향 추정을 위한 안테나 측정 프로그램의 개발에 관한 연구,” 추계 마이크로파 및 전파학술대회 논문집, pp. 255-258, 2002.
- [7] 민경식, 임 경우, “전파암실용 안테나 측정 프로그램 개발에 관한 연구,” 대한전자공학회 한국통신학회 추계 학술논문발표회 논문집, pp. 165-168, 2002.
- [8] 민경식, 박영환, “GUI를 적용한 안테나 측정 소프트웨어,” 2004년도 하계 전자파기술학회, pp. 44-48, 2004. 6.
- [9] <http://www.flann.com>
- [10] 임경우, “해상용 Sonobuoy Transmitting Antenna 시스템 측정에 관한 연구,” 한국해양대학교 석사학위논문, 2004.
- [11] Kyeong-Sik Min, Kyeong-Woo Im, Young-Hwan Park, “Performance of Sonobuoy Antenna Compensated with Impedance Matching Circuit at VHF Band,” 2003 Asia-Pacific Microwave Conference, Vol. 1, pp. 591-594, 2003. 11.

- [12] 김기채, 김동일, 박동철, 윤영중, 임영석, 조영기, *안테나 공학*, 대영사, 2003.
- [13] Warren L. Stutzman, Gary A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, John Willy & Sons, Inc, 1998.
- [14] Kyeong-Sik Min, Young-Hwan Park, Kyeong-Woo Im, "Design for Sonobuoy Transmitting Antenna for Anti Submarine Warfare," 2004 International Symposium on Antennas and Propagation, Vol. 1, pp. 1021-1024, 2004. 8.

## 발표 논문

- [1] 민경식, 박영환, 임경우, “해상용  $\lambda/4$  수직접지 송신안테나 시스템의 특성 평가,” 2003년도 춘계 마이크로파 및 전파전파 학술대회, pp. 27-30, 2003. 5.
- [2] 민경식, 임경우, 박영환, “임피던스 정합회로를 가지는 VHF대 수직접지 안테나의 측정,” 2003년도 춘계 마이크로파 및 전파전파 학술대회, pp. 27-30, 2003. 5.
- [3] Kyeong-Sik Min, Kyeong-Woo Im, Young-Hwan Park, “Performance of Sonobuoy Antenna Compensated with Impedance Matching Circuit at VHF Band,” 2003 Asia-Pacific Microwave Conference, Vol. 1, pp. 591-594, 2003. 11.
- [4] 민경식, 박영환, “안테나 특성 측정 프로그램의 개발에 관한 연구,” 2004년도 춘계 마이크로파 및 전파전파 학술대회, pp. 463-466, 2004. 5.
- [5] 민경식, 박영환, “GUI를 적용한 안테나 측정 소프트웨어,” 2004년도 하계 전자파기술학회, pp. 44-48, 2004. 6.
- [6] Kyeong-Sik Min, Young-Hwan Park, Kyeong-Woo Im, “Design for Sonobuoy Transmitting Antenna for Anti Submarine Warfare,” 2004 International Symposium on Antennas and Propagation, Vol. 1, pp. 1021-1024, 2004. 8.

## 감사의 글

이 작은 결실을 얻기까지 때론 아버지와 같은 엄격함으로 때론 어머니와 같은 따뜻함으로 세심한 지도를 해주신 민 경식 교수님께 깊이 감사드립니다. 부족한 제자들을 믿어주시고 항상 저희들과 함께 호흡하셨던 교수님의 은혜를 잊지 않겠습니다. 더 좋은 논문이 될 수 있도록 지도해주신 조 형래 교수님, 윤 영 교수님께 감사드리며, 6년 동안 많은 가르침을 주신 김 동일 교수님, 김 기만 교수님, 정 지원 교수님, 강 인호 교수님께 감사드립니다. 또한 많은 기술적 도움을 주신 무한테크의 최선종 실장님께 감사드립니다.

대학원 2년 동안 연구실에서 같이 부대끼며 생활했던 지원형, 종현형, 철근선배, 진우, 동진, 중길이에게 고마움을 전하며, 먼 나라에 와서 고생하고 있는 Vu Manh Dat, Tran Viet Hong에게도 고마움을 전합니다. 더 많은 지식과 더 넓은 세상을 가르켜 준 진생형, 도연형, 지훈형, 정호형, 종호형에게도 감사드립니다.

서울에서의 객지생활에 외롭지 않게 배려해주시며 마음 많이 써주시는 현희누나, 세현형, 덕중형, 정림누님, 길도형, 영은누나, 시내누나에게도 깊이 감사드립니다. 또한 멋진 친구들인 현철, 진영, 재환, 동진, 성일, 영수, 형선, 정술, 용수, 정민이에게도 고마움을 전합니다.

부족한 아들을 위해 아낌없는 사랑을 주신 아버지, 어머니께 깊은 감사를 드리며, 앞으로는 그 큰 은혜에 조금이라도 보답하며 살고자 합니다. 부끄럽지 않은 아들이 되도록 노력하겠습니다. 그리고 항상 오빠를 지켜봐 준 사랑하는 동생 미현이에게도 고마움을 전합니다.

이제 저는 새로운 곳에서 새로운 도전을 시작합니다. 저를 지켜봐 주시는 모든 분들께 부끄럽지 않은 모습으로 살아갈 수 있도록 항상 밝은 모습으로 열심히 노력하겠습니다.

박 영환 올림