

工學碩士 學位論文

CPW 給電 광대역 슬롯안테나 設計 및 具現

Design and Implementation of CPW fed  
Wide-band Slot Antenna

指導教授 朴 東 國

2004年 2月

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

電 子 通 信 工 學 科

金 起 洙

工學碩士 學位論文

CPW 給電 광대역 슬롯안테나 設計 및 具現

Design and Implementation of CPW fed  
Wide-band Slot Antenna

指導教授 朴 東 國

2004年 2月

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

電 子 通 信 工 學 科

金 起 洙

本 論 文 을 尹 千 洙 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함

主 審      양   규   식      ①

副 審      김   기   문      ①

副 審      박   동   국      ①

2004年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電子通信工學科

金 起 洙

# 목 차

Abstract

제 1 장 서 론.....	1
제 2 장 평판형 안테나 광대역화.....	3
2.1 평판형 안테나 광대역화 방법.....	3
2.2 직사각형 CPW 급전 슬롯안테나 개요.....	5
2.3 보우-타이형 CPW 급전 슬롯안테나 개요.....	10
2.4 CPW 급전 슬롯안테나 광대역화 방법.....	12
제 3 장 제안된 직각삼각형 CPW 급전 광대역 슬롯안테나 .....	14
3.1 직각삼각형 CPW 급전 광대역 슬롯안테나 설계.....	14
3.2 실험 결과 및 고찰.....	17
제 4 장 제안된 직사각형 및 보우-타이 슬롯을 결합한 CPW 급전 광대역 슬롯안테나 .....	20
4.1 직사각형 및 보우-타이 슬롯을 결합한 CPW 급전 광대역 슬롯안테나 설계 .....	20
4.2 실험 결과 및 고찰 .....	24
제 5 장 결 론.....	27
참 고 문 헌.....	28

## 표 목 차

<표 4-1> 모의 실험한 안테나 공진주파수.....	23
-------------------------------	----

## 그 립 목 차

<그림 2-1> 평판형 패치 안테나 구조.....	3
<그림 2-2> CPW 급전 평판형 슬롯안테나 구조 .....	4
<그림 2-3> 직사각형 CPW 급전 슬롯 안테나.....	6
<그림 2-4> 그림 2-3 (a) capacitive 급전 $\lambda/2$ 직사각형 슬롯안테나 슬롯 폭의 변화에 따른 임피던스 및 반사손실 변화.....	7
<그림 2-5> 그림 2-3 (b) inductive 급전 $1\lambda$ 직사각형 슬롯안테나 슬롯 폭의 변화에 따른 임피던스 및 반사손실 변화.....	8
<그림 2-6> 그림 2-3 (c) 멀티 폴디드 슬롯안테나의 슬롯 수의 증가에 따른 임피던스 및 반사손실 변화.....	9
<그림 2-7> 보우-타이형 CPW 급전 슬롯안테나 구조 .....	10
<그림 2-8> 보우-타이 슬롯안테나의 내각의 변화에 따른 임피던스 및 반사손실 변화.....	11
<그림 2-9> 직사각형 방사 슬롯을 활용한 CPW 급전 광대역 슬롯안테나 .....	13
<그림 3-1> 직각삼각형 CPW 급전 슬롯안테나의 구조 .....	15
<그림 3-2> 직각삼각형 슬롯 내각의 변화에 따른 직각삼각형 CPW 급전 슬롯안테나 반사손실.....	15
<그림 3-3> 임피던스 정합을 위해 삼각형 노치를 삽입한 제안된 직각삼각형 CPW 급전 광대역 슬롯안테나 구조.....	16

<그림 3-4> 제작한 안테나 사진.....	17
<그림 3-5> 모의실험 및 측정된 반사손실 .....	18
<그림 3-6> 제안된 슬롯안테나의 모의실험 복사패턴 (5.3 GHz).....	19
<그림 4-1> 제안된 보우-타이와 직사각형 슬롯을 결합한 CPW 급전 광대역 슬롯안테나 구조.....	21
<그림 4-2> $1\lambda$ 직사각형 슬롯안테나 슬롯의 길이에 따른 반사손실 변화 .....	22
<그림 4-3> 제안된 안테나 슬롯의 길이( $l$ )에 따른 반사손실 변화 .....	23
<그림 4-4> 제작된 보우-타이와 직사각형을 결합한 CPW 급전 광대역 슬롯안테나 .....	24
<그림 4-5> 모의실험 및 측정된 반사손실 .....	25
<그림 4-6> 제안된 슬롯안테나의 모의실험 복사패턴 (10GHz) .....	26

## Abstract

Future antenna will be used to a growing extent for multipurpose applications and thus require operation over wide bandwidths. Especially, planar antennas have been studied to achieve wide bandwidth characteristic for many years.

In this paper, two novel designs for CPW fed wide band slot antennas are presented. In microwave and millimeter wave applications, aperture antennas fed by coplanar waveguide have several useful properties, such as wider bandwidth, better impedance matching, easier integration of solid state active devices and lower radiation losses. The impedance matching and the radiation characteristics of the antennas were studied by using method of moment technique.

One of the proposed slot antenna is consisted of two triangle slots. The triangle slot antenna has small metal inserts of the triangle type for impedance matching. Return loss and the radiation patterns are simulated. The measured 10 dB bandwidth is 2.76:1.

The other proposed slot antenna has new bow-tie slot which is combined with four  $\lambda/2$  rectangular slot. The measured 10 dB impedance bandwidth is 1.91:1.

## 제 1 장 서 론

최근 이동통신 및 위성통신 등 무선통신의 급속한 발달로 음성위주의 협대역 통신에서 벗어나 인터넷, 멀티미디어와 같은 광대역 통신으로 그 주파수 활용대역이 넓어지고 높아지고 있다. 이러한 새로운 통신체계의 변화에 대응 효율적인 광대역 안테나 개발이 주목받고 있다. 광대역 안테나는 다중대역의 통신 서비스를 하나의 안테나를 사용하여 다양한 정보와 빠른 서비스를 제공하는데 사용되고 있다. 특히 지반탐사레이더, 전자파 장해 측정에 사용되고 있으며, 최근에는 점유 대역폭 500MHz 이상을 차지하는 무선 전송 기술 시스템인 초광대역 (UWB; Ultra Wide Band) 통신이 활발히 연구중에 있다.

광대역 안테나는 가볍고 제작이 간편하여 제작비용이 저렴한 장점을 갖는 평판형 안테나로 많은 연구가 이루어져 왔다. 일반적인 마이크로스트립 패치안테나의 경우, 주파수 대역폭이 수 %에 지나지 않아 광대역 통신에 사용하기엔 부적합하여 튜닝 스테브, 리액티브 로드, 적층 구조를 이용하는 등의 기법을 사용하여 광대역화에 대한 연구가 진행되어 왔다 [1]-[4].

이와 더불어 평판형 마이크로파 안테나의 급전선으로는 마이크로스트립 선로가 일반적이었으나 최근 능동소자나 수동소자와의 집적화가 용이한 코플레너 도파관 (CPW; Coplanar Waveguide) 선로의 활용이 증가해지고 CPW 급전 안테나 개발이 이루어지고 있다. 이 중 CPW 급전 슬롯안테나의 경우, 일반적인 마이크로스트립 패치나 다이폴에 비해 상대적으로 대역폭이 넓기 때문에 광대역화에 대한 연구가 이루어져 왔다. CPW 급전 슬롯안테나는 직사각형, 보우-타이, 원형, 폴디드-다이폴, 하이브리드,



브릭 월(Brick-wall), 보우-타이와 다이폴을 결합한 것과 같은 다양한 형태가 있으며 이들은 방사슬롯의 수를 늘려 임피던스 정합을 이루거나 서로 다른 형태의 방사소자를 결합하여 다중 공진을 활용하고 슬롯의 면적을 넓히는 등의 기법으로 광대역 특성을 얻을 수 있다<sup>[5]-[12]</sup>.

이에 CPW 급전 슬롯안테나의 광대역화에 관한 연구를 통해 앞으로 다가올 UWB 통신 등 광대역 무선통신에 활용하고자 한다.

제 2 장에서는 평판형 안테나 광대역화 와 CPW 급전 직사각형 슬롯안테나의 급전방법에 따른 종류 및 기존의 CPW 급전 직사각형 및 보우-타이형 슬롯 안테나 광대역화 방법에 대해 모멘트 (MOM; Method of Moments) 방식의 시뮬레이터인 앙상블(Ensemble)로 모의 실험하여 고찰하였고 슬롯안테나 설계변수에 대한 결과를 정리하였다.

제 3 장에서는 방사소자로 직삼각형을 사용한 형태의 CPW 급전 광대역 슬롯안테나 설계방법에 대해 기술하였고 임피던스, 반사손실과 안테나 복사패턴의 모의실험 및 측정결과를 나타내었다.

제 4 장에서는 방사소자로 직사각형 및 보우 타이 슬롯을 결합한 형태의 CPW 급전 광대역 슬롯안테나 설계방법에 대해 기술하였고 임피던스, 반사손실과 안테나 복사패턴의 모의실험 및 측정결과를 나타내었다.

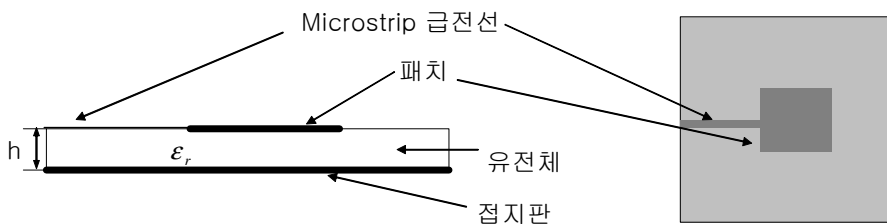
제 5 장에서는 결론을 기술하였다.

## 제 2 장 평판형 안테나 광대역화

본 장에서는 평판형 안테나 광대역화 와 CPW 급전 직사각형 슬롯안테나의 급전방법에 따른 종류 및 기존의 CPW 급전 직사각형 및 보우-타이형 슬롯 안테나 광대역화 방법에 대하여 서술하였다.

### 2.1 평판형 안테나 광대역화 방법

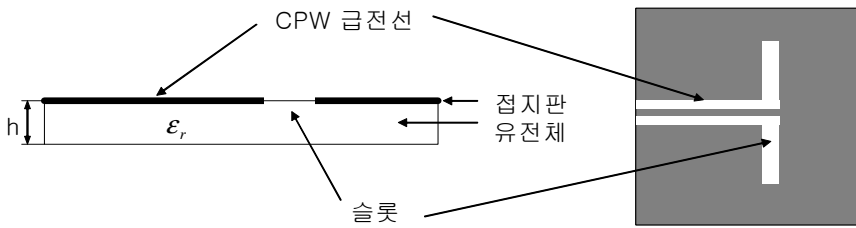
안테나는 전송선의 전자파 신호를 자유공간으로 방사하거나 그 반대로 공간에 존재하는 전자파를 수신하는 기능이 있으며 전송선과 자유공간 사이에서 임피던스 정합을 해주는 변환기라고 할 수 있다. 특히 평판형 안테나는 위성통신, 이동통신과 같은 무선시스템의 중요한 기술로써 보다 소형, 경량, 박형, 대량생산이 가능하도록 하는 차세대 단말 장치에 각광 받고 있다. 그러나 평판안테나의 경우 그 특성상 협대역 특징을 가지므로 광대역 서비스로의 이행을 위한 협대역 특성의 개선은 필수 불가결한 문제가 되었다.



<그림 2-1> 평판형 패치 안테나 구조

<Fig. 2-1> Geometry of planar patch antenna

<그림 2-1>과 같은 일반적인 평판 안테나의 광대역화 방법은 임피던스 매칭 방법, 다중공진에 의한 방법, 감쇠기 부착 효율 감소 방법, 물리적 구조에 의한 방법 등으로 나뉠 수 있다<sup>[13]</sup>.



<그림 2-2> 평판형 CPW 급전 슬롯안테나 구조

<Fig. 2-2> Geometry of CPW fed planar slot antenna

<그림 2-2>와 같은 슬롯안테나는 마이크로스트립 패치나 다이폴에 비해 상대적으로 대역폭이 넓기 때문에 광대역화에 대한 연구가 이루어져 왔다. 특히 신호선과 접지가 같은 면에 존재하는 CPW 급전 선로를 활용한 슬롯안테나는 직사각형, 보우-타이, 원형, 폴디드-다이폴, 하이브리드, 브릭 월(Brick-wall), 보우-타이와 다이폴을 결합한 것과 같은 다양한 형태가 있으며 이들은 방사슬롯의 수를 늘려 임피던스 정합을 이루거나 서로 다른 형태의 방사소자를 결합하여 다중 공진을 활용하고 슬롯의 면적을 넓히는 등의 기법으로 광대역 특성을 얻을 수 있다<sup>[5]-[12]</sup>.

광대역 안테나 대역폭은 식 (2.1)과 같이 동작주파수 범위의 상한값과 하한값의 비율로서 나타낸다.

$$BW = \frac{f_U}{f_L} \quad (2.1)$$

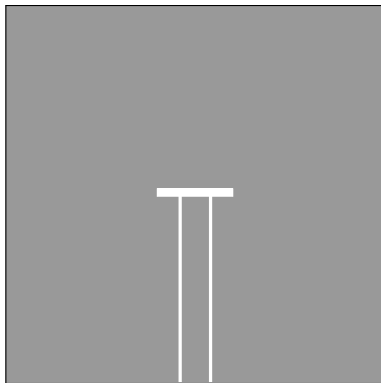
## 2.2 직사각형 CPW 급전 슬롯안테나 개요

직사각형 CPW 급전 슬롯안테나는 일반적으로 방사슬롯의 형태와 급전 구조에 의해서 그 특성이 달라진다. CPW 급전 직사각형 슬롯안테나는 급전의 형태에 따라 capacitive 급전과 inductive 급전으로 나뉘며 그 길이는 공진주파수 파장의  $\lambda/2$ 와  $1\lambda$  이고 임피던스 정합은 슬롯의 폭에 의해 좌우된다. <그림 2-3> (a) 와 같은 capacitive 급전 직사각형 슬롯안테나의 경우 직사각형 슬롯의 길이는 공진주파수 파장의  $\lambda/2$ 이다.

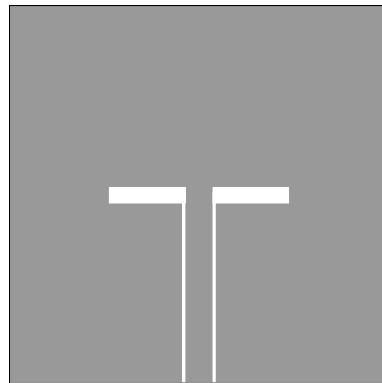
<그림 2-2> (b)와 같은 inductive 급전 직사각형 슬롯안테나의 경우의  $\lambda/2$  직사각형 방사슬롯이 두개인 형태로 안테나의 전체길이는  $1\lambda$ 이다. <그림 2-3> (c) 는 멀티 폴디드 형태로서  $\lambda/2$  직사각형 방사슬롯을 늘려 임피던스 정합과 광대역을 얻는 구조이다. <그림 2-3> (d) 는 하이브리드 구조로서 길이가 다른 방사슬롯을 추가하여 이중 공진을 활용해 광대역을 얻는 구조이다.

기존의 직사각형 슬롯안테나의 특성을 비교분석하기 위해 MOM 방식의 시뮬레이터인 앙상블 (Ensemble)을 사용하여 모의 실험하였다. 비유전율  $\epsilon_r=3.38$ , 두께 0.81mm인 기판으로 <그림 2-3> (a), (b), (c)타입의 안테나를 10 GHz 공진에 맞춰 설계 했다. <그림 2-4>와 <그림 2-5>는 capacitive 급전  $\lambda/2$  직사각형 슬롯안테나와 inductive 급전  $1\lambda$  직사각형 슬롯안테나의 슬롯 폭의 변화에 따른 입력 임피던스와 반사손실을 나타내었다. <그림 2-6>은 multi folded 슬롯안테나의  $\lambda/2$  직사각형 방사슬롯의 숫자의 증가에 따른 입력 임피던스와 반사손실을 나타내었다. 그 결과 capacitive 급전  $\lambda/2$  직사각형 슬롯안테나의 10 dB 임피던스 대역폭은 9%로 10% 미만 이였고 상대적으로  $\lambda/2$  직사각형 슬롯을 2개 갖는 구조인 inductive 급전  $1\lambda$  직사각형 슬롯안테나의 경우 20%로 넓은 대역폭

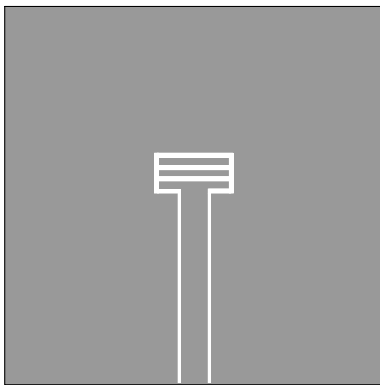
을 갖는다. 이러한 일반적인 직사각형 슬롯안테나의 대역폭을 넓히기 위한 방안으로 제안된 <그림 2-3> (c) 멀티 폴디드 형태의 슬롯안테나의 경우 직사각형 방사슬롯의 수를 늘리는 방법으로 임피던스 정합을 이룰 수 있음을 확인하였고 10 dB 임피던스 대역폭은 30%까지 확장할 수 있음을 확인하였다. <그림 2-3> (d)의 경우  $1\lambda$  직사각형 슬롯안테나에 길이가 다른 방사슬롯을 추가해 다중 공진을 활용할 경우 주파수 대역폭을 49%까지 확장시킬 수 있다.



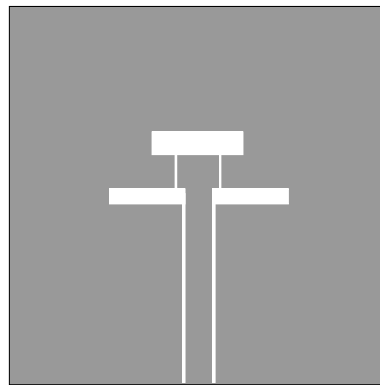
(a)  $\lambda/2$  직사각형 슬롯안테나



(b)  $1\lambda$  직사각형 슬롯안테나



(c) 멀티 폴디드 형 슬롯안테나

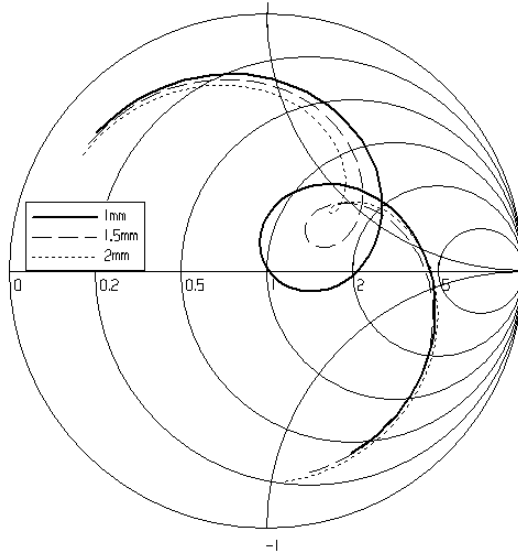


(d) 하이브리드 형 슬롯안테나

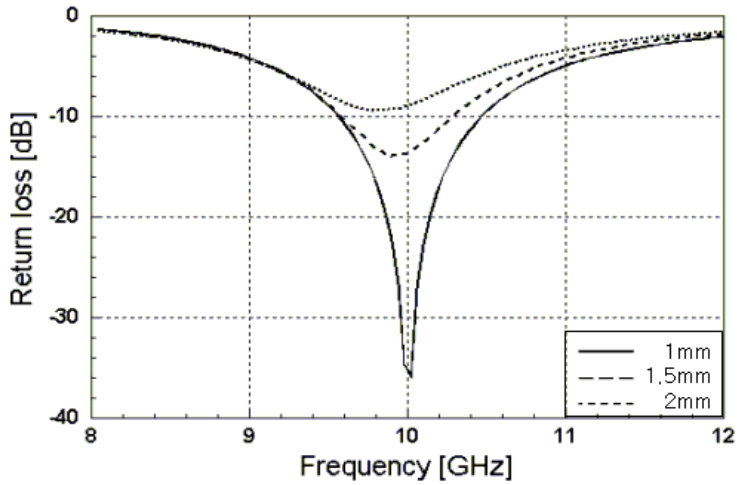
<그림 2-3> 직사각형 CPW 급전 슬롯 안테나

( 유전율  $\epsilon_r=3.38$ , 두께  $T=0.81\text{mm}$  )

<Fig. 2-3> CPW fed rectangular slot antennas



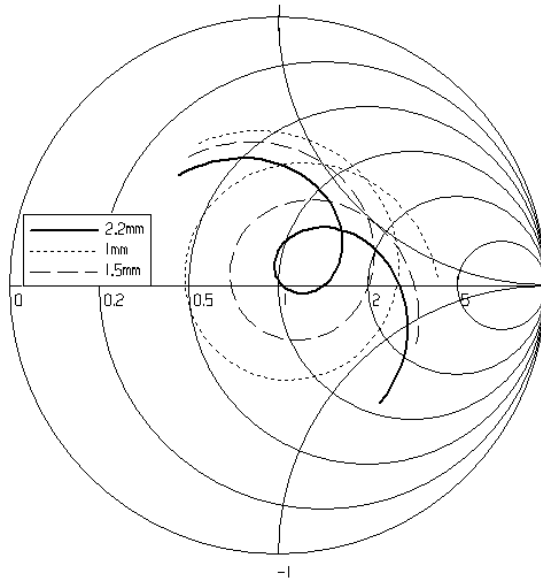
(a) 임피던스 변화



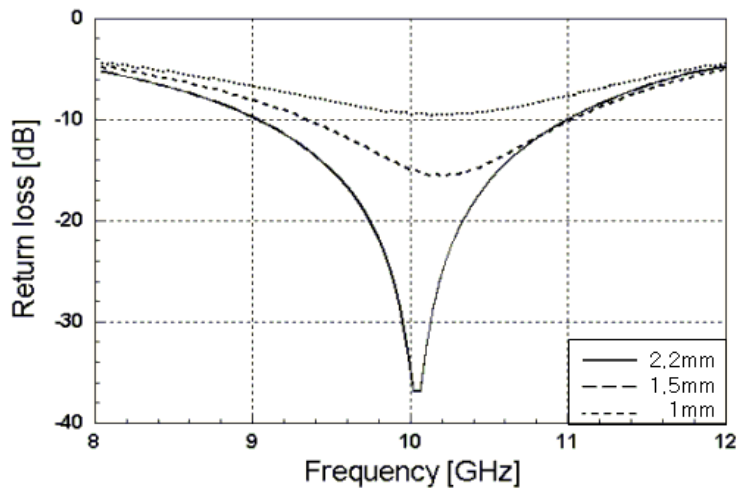
(b) 반사손실 변화

<그림 2-4> 그림 2-3 (a) capacitive 급전  $\lambda/2$  직사각형 슬롯안테나 슬롯 폭의 변화에 따른 임피던스 및 반사손실 변화

<Fig. 2-4> Impedance and return loss of  $\lambda/2$  capacitively fed rectangular slot antenna by width of slot



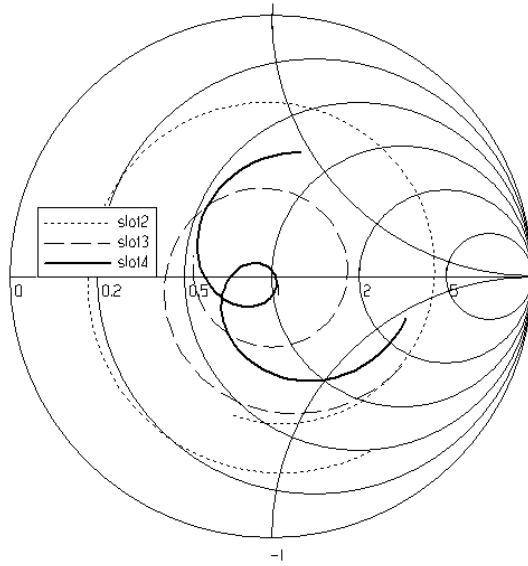
(a) 임피던스 변화



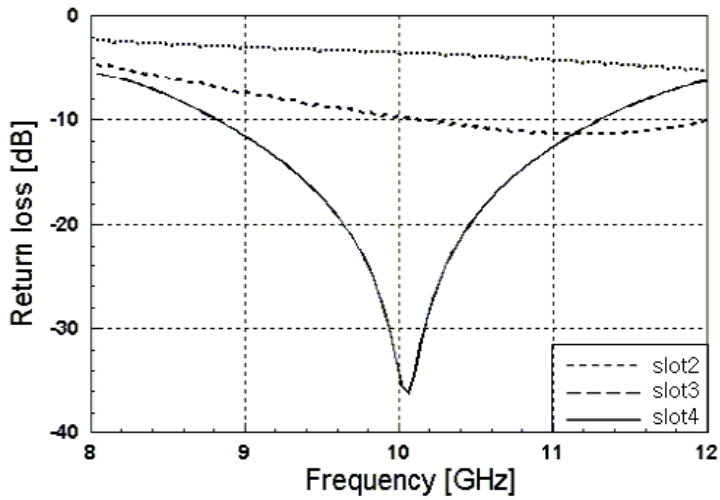
(b) 반사손실 변화

<그림 2-5> 그림 2-3 (b) inductive 급전  $1\lambda$  직사각형 슬롯안테나 슬롯 폭의 변화에 따른 임피던스 및 반사손실 변화

<Fig. 2-5> Impedance and return loss of  $1\lambda$  inductively fed rectangular slot antenna by width of slot



(a) 임피던스 변화



(b) 반사손실 변화

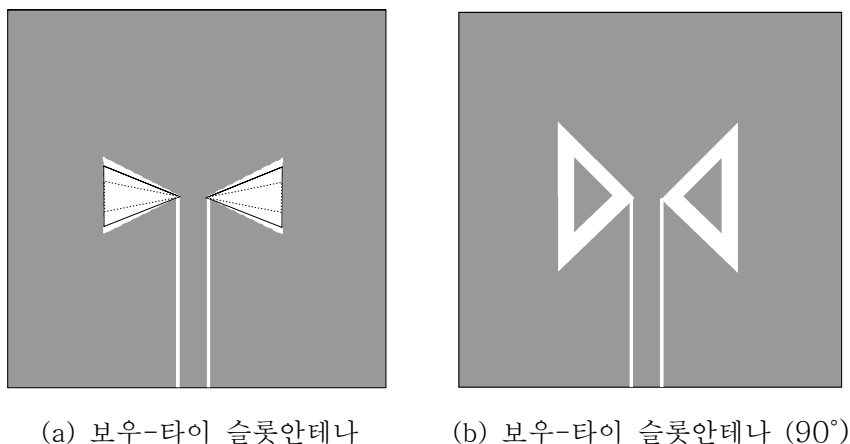
<그림 2-6> 그림 2-3 (c) 멀티 폴디드 슬롯 안테나의 슬롯 수의 증가에 따른 임피던스 및 반사손실 변화

<Fig. 2-6> Impedance and return loss multi-folded slot antenna by the number of slot



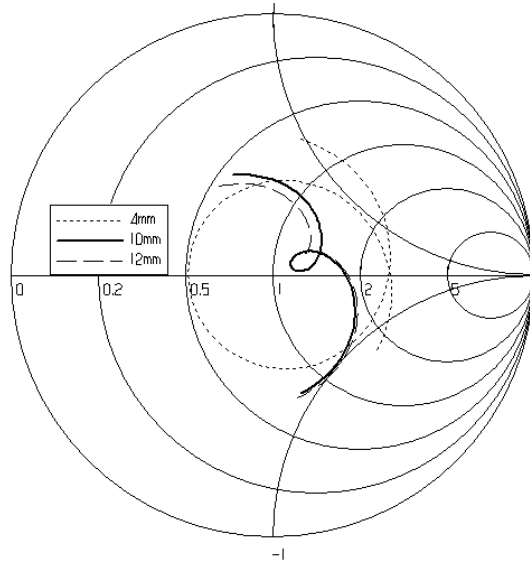
## 2.3 보우-타이형 CPW 급전 슬롯안테나 개요

광대역 방사소자로 널리 알려진 보우-타이 슬롯을 활용한 CPW 급전 슬롯안테나는 보우 타이 내각의 변화에 따라 쉽게 방사 슬롯의 면적과 임피던스 정합을 조절할 수 있다. <그림 2-7>은 보우-슬롯 안테나를 나타내었다. <그림 2-7> (a)형태의 inductive 급전 보우-타이 슬롯안테나의 경우 보우-타이 슬롯 내각의 변화에 따른 임피던스와 반사손실을 <그림 2-8>에 나타내었다.  $18.9^\circ$ ,  $45.2^\circ$ ,  $53.1^\circ$ 의 크기로 모의 실험결과 보우-타이 내각의 크기가  $45^\circ$  정도일 때 정합됨을 알 수 있다. 10 dB 임피던스 대역폭은 27% 정도이다. 그 이상의 각도를 갖는 보우-타이 슬롯 안테나의 경우 <그림 2-7> (b)의 형태와 같이 보우-타이 슬롯 내에 메탈을 삽입한 형태로서 정합을 이루는 방법이 연구된 바<sup>[6]</sup> 있고 이러한 방법으로 보우-타이 내각의 각도가  $90^\circ$  인 경우 임피던스 정합을 통해 얻을 수 있는 10 dB 임피던스 대역폭은 30%에 이른다.

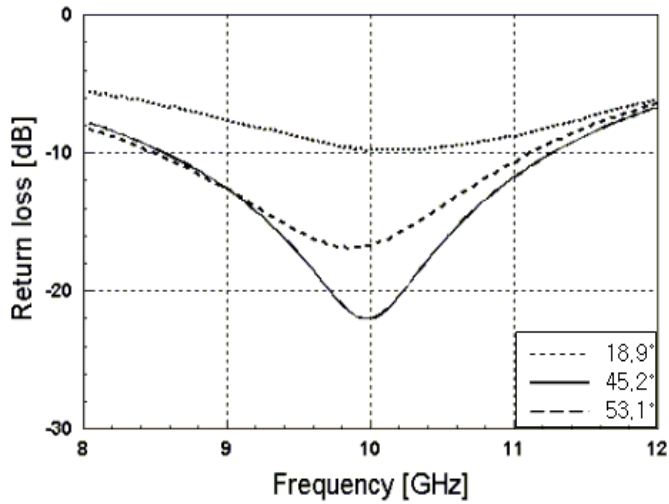


<그림 2-7> 보우-타이형 CPW 급전 슬롯안테나 구조

<Fig. 2-7> Geometry of CPW fed bow-tie slot antennas



(a) 임피던스 변화



(b) 반사손실 변화

<그림 2-8> 보우-타이 슬롯안테나의 내각의 변화에 따른 임피던스 및 반사손실 변화

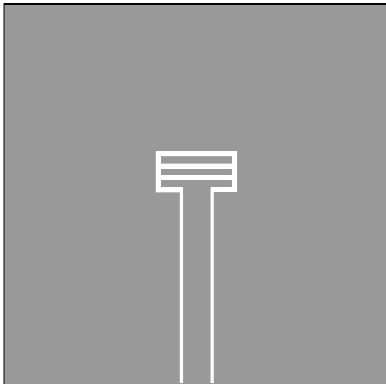
<Fig. 2-8> Impedance and return loss of bow-tie slot antenna by angle of bow-tie slot

## 2.4 CPW 급전 슬롯안테나 광대역화 방법

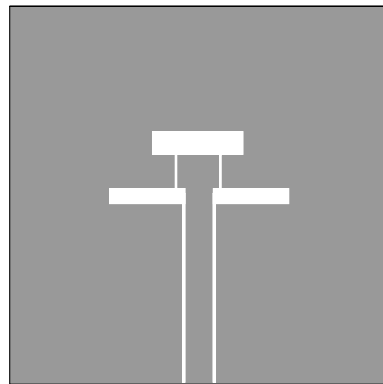
CPW 급전 슬롯안테나의 정합과 대역폭을 향상시키기 위한 연구로서 CPW 급전부에 변화를 주는 경우와 CPW 급전 구조의 변화 없이 방사 슬롯의 형태에 변화를 주어 임피던스 정합과 광대역 특성을 얻는 방법이 있다<sup>[6-12]</sup>. 이 외에 원형 링<sup>[7]</sup>이나 스파이럴 형태<sup>[14]</sup>의 광대역 방사소자를 활용한 방법이 있다. 본 논문에서는 직사각형과 보우-타이 슬롯 형태의 방사소자를 활용한 광대역 안테나의 특성과 광대역화 방법에 대해 논하였다.

<그림 2-9>는 직사각형 슬롯을 활용한 광대역 안테나이다. 폴디드 슬롯 안테나의 경우  $\lambda/4$  트랜스포머를 사용하여 임피던스 정합을 할 수 있으나 광대역 임피던스 정합에 기여하는 바는 크지 않다. <그림 3-8> (a)와 같이  $\lambda/2$  직사각형 슬롯을 multi folded 형태로 방사슬롯의 수를 늘리면 그 대역폭을 약 30%까지 확장시킬 수 있고  $1\lambda$  직사각형 슬롯안테나의 경우 <그림 2-9> (b) hybrid 구조의 형태로 길이가 다른 방사슬롯을 추가하여 이중 공진을 활용해 주파수 대역폭을 49% 까지 확장시킬 수 있다. <그림 2-9> (c)는 보우 타이 슬롯과 직사각형 슬롯을 겹쳐놓은 형태로서 이중 공진에 의한 광대역화를 이룰 수 있고 실제 한 옥타브 이상의 광대역 특성을 갖는다. <그림 3-8> (d)은 대수주기 형태로 위치에 따른 직사각형 슬롯의 길이가 다르므로 다중공진에 의한 광대역화를 기대할 수 있고 주파수 대역폭은 30%를 상회한다. 이와 더불어 보우-타이형 슬롯안테나의 경우 방사슬롯의 형태를 변형시키는 방법만으로 광대역 특성을 얻을 수 있었다. 모의 실험결과 슬롯안테나의 경우 방사슬롯의 수를 늘리거나 그 형태를 변형시킴으로써 광대역 특성을 유도할 수 있음을 알게 되었고 이에 방사슬롯의 수를 늘리거나 그 형태를 변형시키는 방법을

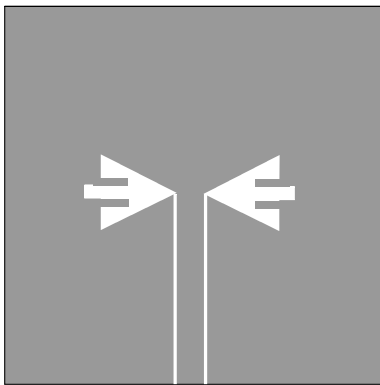
활용하여 새로운 형태의 CPW 급전 광대역 슬롯안테나를 제안하고자 한다.



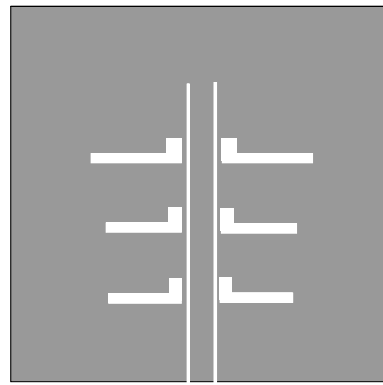
(a) 멀티 폴디드 형



(b) 하이브리드 형



(c) 보우-타이와 직사각형  
슬롯을 결합한 형



(d) 대수 주기 형

<그림 2-9> 직사각형 방사 슬롯을 활용한 CPW 급전 광대역 슬롯안테나  
<Fig. 2-9> CPW fed wide-band slot antennas by using of radiation  
rectangular slot

## 제 3 장 제안된 직각삼각형 CPW 급전 광대역 슬롯안테나

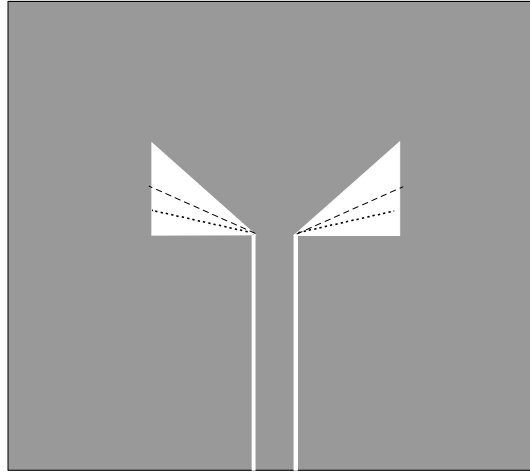
본 장에서는 방사소자로 직각삼각형을 사용한 형태의 CPW 급전 광대역 슬롯안테나 설계방법에 대해 기술하였고 임피던스, 반사손실과 안테나 복사패턴의 모의실험 및 측정결과를 나타내었다.

### 3.1 직각삼각형 CPW 급전 광대역 슬롯안테나 설계

<그림 3-1>은 직각삼각형 슬롯을 활용한 CPW 급전 슬롯안테나이다. 직각삼각형 슬롯안테나의 경우 공진주파수는 슬롯의 길이에 의해 좌우되고 임피던스 정합은 슬롯의 폭을 가변시킴으로 얻을 수 있다. 실질적으로 임피던스 정합의 변수는 폭임을 알 수 있다. 광대역 특성을 얻기 위해 방사슬롯의 폭의 변화에 주목하여 슬롯의 길이는 5GHz 공진주파수의 반 파장으로 고정하고 내각의 크기를 26.56°, 37.87°, 45°로 변화 시켜 폭만을 가변시켜 모의실험 하였다. 내각의 변화를 통해 임피던스 정합을 이루는 보우-타이 슬롯 안테나의 경우와 비교하면 슬롯의 면적은 보우-타이 보단 그 면적이 반으로 줄지만 직각삼각형 슬롯보단 그 면적이 더 커짐으로써 보다 대역폭이 넓어짐을 기대할 수 있고 슬롯의 폭이 길이에 따라 변화함으로써 다중 공진 모드를 기대할 수 있는 구조이다.

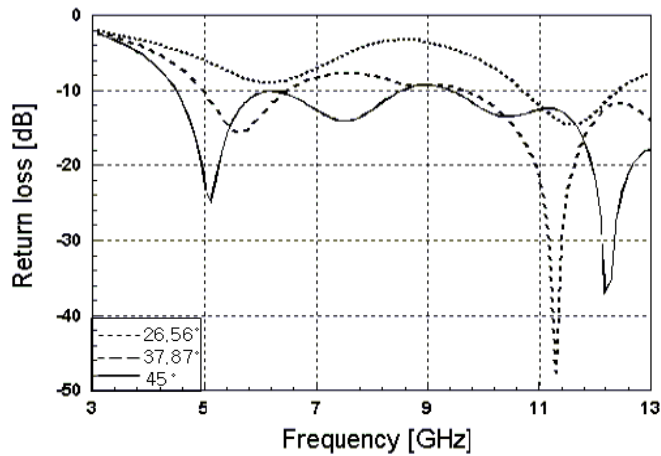
<그림 3-2>는 CPW 급전 직각삼각형 슬롯안테나의 내각에 따른 변화를 모의 실험한 반사손실 값을 나타내었다. 방사슬롯이 직각삼각형인 안테나의 구조로 내각이 45°일 경우 가장 큰 슬롯 면적에 다중공진 모드가 형성됨을 발견할 수 있고 10 dB 임피던스 대역폭은 4.2~8.5 GHz로서 2.2:1로서 광대역 특성을 띄게 된다는 것을 알 수 있다. 이로써 슬롯 폭의 변화에 따른 다중 공진을 유도할 수 있음을 알게 되었고 보다 넓은 대

역폭을 얻기 위해선 5 GHz 이상의 주파수대역의 임피던스 정합이 필요함을 알 수 있다.



<그림 3-1> 직각삼각형 CPW 급전 슬롯안테나의 구조

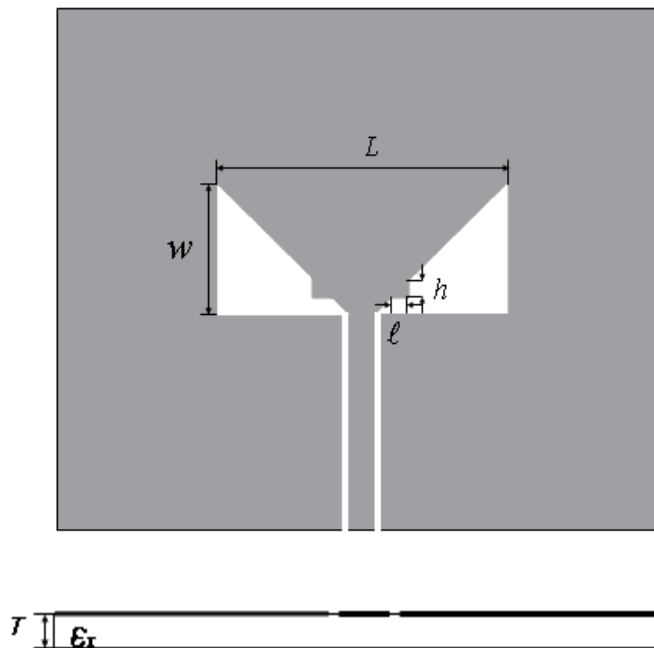
<Fig. 3-1> Geometry of CPW fed triangle slot antenna



<그림 3-2> 직각삼각형 슬롯 내각의 변화에 따른 직각삼각형 CPW 급전 슬롯안테나 반사손실

<Fig. 3-2> Return loss of CPW fed triangle slot antenna by angle of slot

슬롯안테나의 임피던스 정합은 급전부와 안테나 입력부 사이에 트랜스포머를 활용하는 방법과 방사슬롯 자체를 변형시키는 방법이 있다. 제안하는 직각삼각형 슬롯안테나 <그림 3-3>에 나타내었다. 50Ω CPW 급전선로를 활용하고 임피던스 정합을 하기 위해 방사슬롯의 구조를 변형하여 직삼각형 슬롯안테나의 임피던스 정합방법으로서 슬롯에 삼각형 노치를 추가하는 방법을 제안했다.



<그림 3-3> 임피던스 정합을 위해 삼각형 노치를 삽입한 제안된 직각삼각형 CPW 급전 광대역 슬롯안테나 구조

<Fig. 3-3> Geometry of proposed CPW fed metal inserted slot antenna for impedance matching

실제 제작은 비유전율  $\epsilon_r=4.4$ , 두께  $T=1.6\text{mm}$ 인 FR4 기판을 사용하였으며 슬롯의 내각은 삼각슬롯의 급전부로부터  $45^\circ$  만큼 벌어져 증가하는 형태로 슬롯의 폭은  $W=18\text{mm}$  이다. 슬롯의 길이는 5 GHz 공진에 맞추어 반 파장이 되는  $18\text{mm}$ 로 폭과 동일하다. 안테나 전체 길이는  $L=39\text{mm}$ 이다. 임피던스 정합을 위해 추가된 삼각형 노치는  $l=3\text{mm}$ ,  $h=3\text{mm}$ 의 값을 갖는 구조이다. 임피던스 정합을 위한 삼각형 노치를 슬롯의 면적에 비해  $1/36$  크기로서 급전부에 인접한 부분에 추가했다. 이 구조는 직사각형 슬롯보다 그 면적이 더 커짐으로 해서 보다 대역폭이 넓어짐을 기대할 수 있고 슬롯의 폭이 길이에 따라 변화함으로써 다중 공진 모드를 기대할 수 있는 구조이다.

### 3.2 실험 결과 및 검토

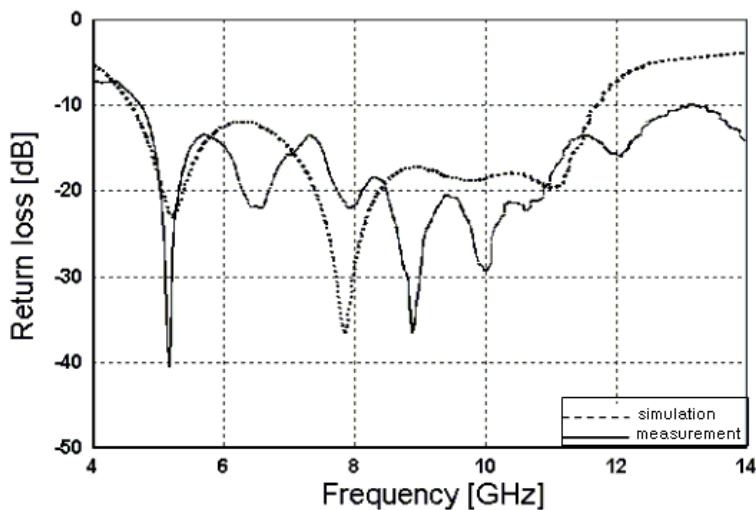


<그림 3-4> 제작한 안테나 사진

<Fig. 3-4> Photography of fabricated slot antenna



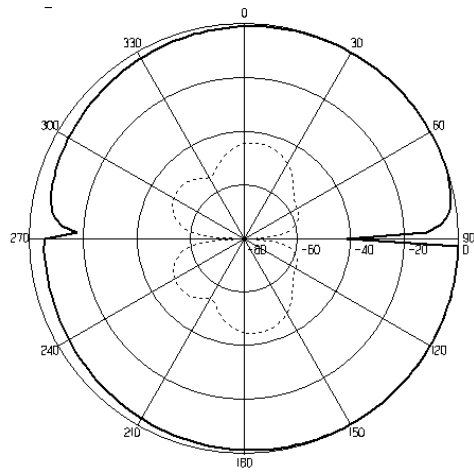
<그림 3-4>는 실제 제작 한 직각삼각형 CPW 급전 광대역 슬롯안테나이다. <그림 3-5>는 앙상블로 모의실험 한 결과와 회로망 분석기(Network Analyzer)로 측정 한 반사손실 값을 나타내었다. 10 dB 임피던스 대역폭은 4.74~13.1 GHz로 2.76:1의 광대역 특성을 얻을 수 있었다.



<그림 3-5> 모의실험 및 측정한 반사손실

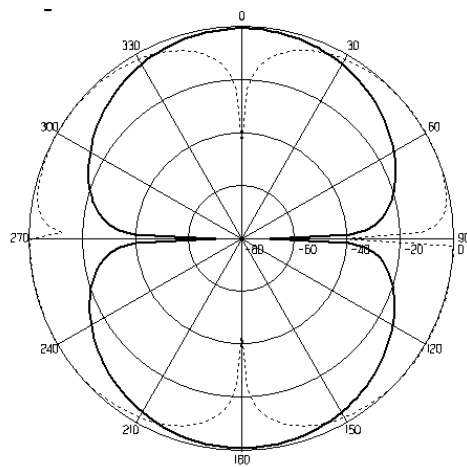
<Fig. 3-5> Return loss of simulation and measurement

<그림 3-6>은 모의 실험한 직각삼각형 슬롯안테나의 복사패턴이다. 제안된 안테나는 슬롯 기준으로 윗면과 아랫면으로 방사하는 양방향성을 갖는다. E 평면 복사패턴은 30~60° 사이에서 최대를 이루며 기울어져 있음을 볼 수 있다. 이것은 제안된 안테나가 직각삼각형 형태로 상하로 비대칭임에 기인한다. 반면 H 평면 복사패턴은 대칭구조로서 전후방 정 방향으로 방사된다. 5.3 GHz에서의 3 dB 빔 폭은 120° 였다.



(a) E 평면 복사패턴

( — E plan co-pol, ..... E plan x-pol)



(b) H 평면 복사패턴

( — H plan co-pol, ..... H plan x-pol)

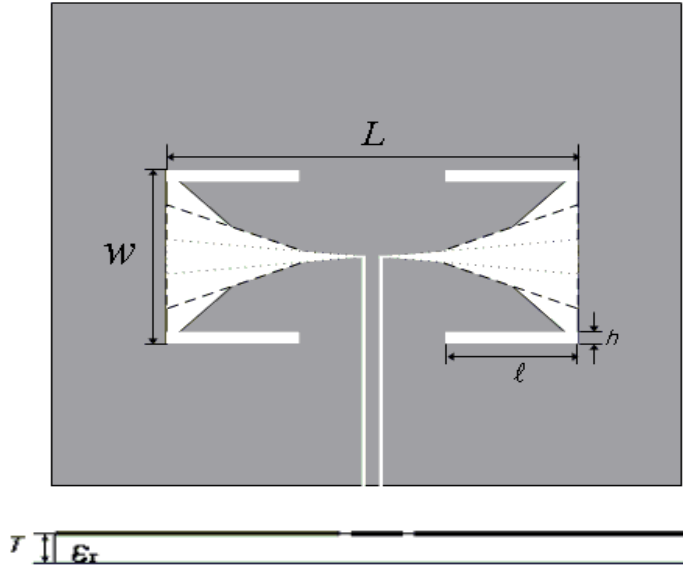
<그림 3-6> 제안된 슬롯안테나의 모의실험 복사패턴 (5.3 GHz)  
 <Fig. 3-6> Simulated radiation pattern of proposed slot antenna

## 제 4 장 제안된 직사각형 및 보우-타이 슬롯을 결합한 CPW 급전 광대역 슬롯안테나

본 장에서는 방사소자로 직사각형 및 보우 타이 슬롯을 결합한 형태의 CPW 급전 광대역 슬롯안테나 설계방법에 대해 기술하였고 임피던스, 반사손실과 안테나 복사패턴의 모의실험 및 측정결과를 나타내었다.

### 4.1 직사각형 및 보우-타이 슬롯을 결합한 CPW 급전 광대역 슬롯안테나 설계

직사각형 및 보우-타이 슬롯을 결합한 초광대역 CPW 급전 슬롯안테나 안테나 구조를 <그림 4-1>에 나타내었다. 50Ω CPW 급전선로를 통해 급전되어 광대역 급전부인 보우-타이 방사슬롯을 거쳐  $\lambda/2$ 길이의 동일한 폭을 갖는 직사각형 방사슬롯 4개의 끝부분에 결합되는 inductive coupling 급전 구조이다. 광대역 급전부는 각도와 크기가 다른 보우-타이 슬롯 3개를 겹쳐 놓은 것과 같은 형태로서 본 논문에서 제안하는 새로운 광대역 급전구조이자 방사소자이다. 따라서 직사각형 슬롯의 수에 의한 증가로 광대역 특성을 유도 할 수 있고 보우-타이 슬롯에 의한 방사에 의해 이중 공진으로 광대역 특성을 기대할 수 있는 구조이다. 광대역 급전부의 길이와 폭은 15mm로 고정하였다. 유전체 기판은 비유전율  $\epsilon_r=3.38$ , 두께  $T=0.81\text{mm}$ 인 로저스 (RO4003)기판을 사용하였다.



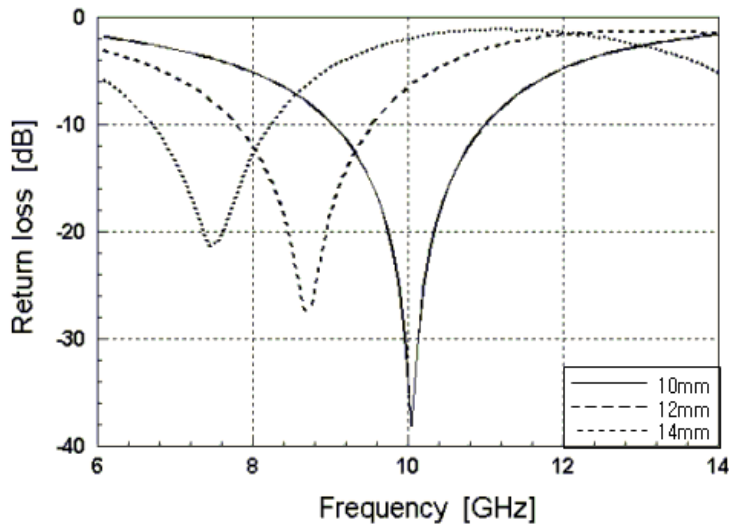
<그림 4-1> 제안된 보우-타이와 직사각형 슬롯을 결합한  
CPW 급전 광대역 슬롯안테나 구조  
<Fig. 4-1> Geometry of the proposed slot antenna

제안된 안테나의 공진 주파수가 직사각형 슬롯의 길이에 의해 결정되는 것을 알아보기 위해 일반적인  $1\lambda$  직사각형 슬롯안테나를 모의 실험하여 주파수에 따른 반사손실의 변화를 <그림 4-2>에 나타내었다. 모의 실험 결과 슬롯의 길이에 따라 공진주파수가 변화함을 알 수 있었고  $1\lambda$  직사각형 슬롯안테나의 10 dB 임피던스 대역폭은 20% 정도 되는 것을 알 수 있다.

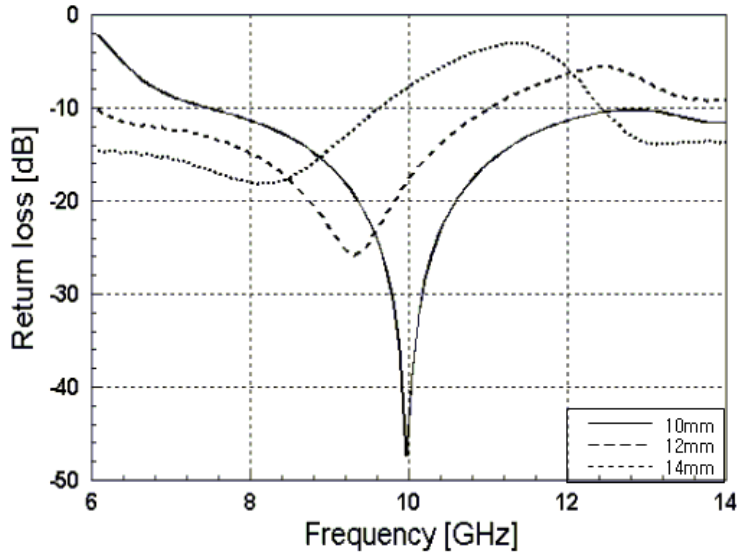
제안된 광대역 급전구조를 갖는 <그림 4-1> 안테나의 직사각형 슬롯의 길이( $\ell$ ) 변화에 따른 반사손실의 변화를 <그림 4-3>에 나타내었다.

<그림 4-2>와 <그림 4-3>의 모의실험 한 반사손실 결과로부터 직사각형 슬롯안테나와 제안된 광대역 슬롯안테나의 방사슬롯 길이에 따른 공진 주파수 변화를 정리하여 <표 4-1>에 나타내었다. <표 4-1>로부터 제안된 안테나의 공진주파수의 변화는 직사각형 슬롯 안테나 길이에 따른 공진주파수 변화의 경우와 유사하고, 따라서 직사각형 슬롯의 길이에 의해서 제안된 안테나의 공진주파수가 결정됨을 알 수 있다.

<그림 4-2>와 <그림 4-3>을 통해 10 dB 임피던스 대역폭을 비교해보면 제안된 안테나의 경우 광대역 급전구조를 사용함으로써 일반적인 직사각형 슬롯안테나보다 10 dB 임피던스 대역폭이 63%로 넓어져 광대역 특성을 가짐을 알 수 있다.



<그림 4-2>  $1\lambda$  직사각형 슬롯안테나 슬롯의 길이에 따른 반사손실 변화  
 <Fig. 4-2> Return loss of  $1\lambda$  rectangular slot antenna as function of the length of slot



<그림 4-3> 제안된 안테나 슬롯의 길이( $\ell$ )에 따른 반사손실 변화

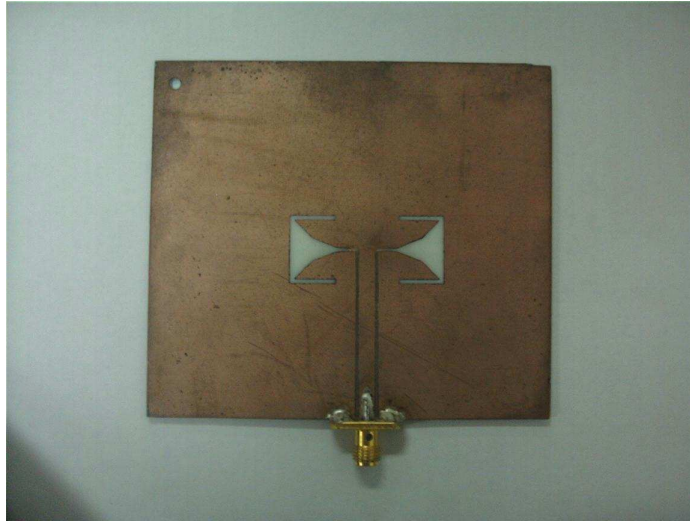
<Fig. 4-3> Return loss of the proposed antenna as function of the length of slot

<표 4-1> 모의 실험한 안테나 공진주파수

<Table. 4-1> Resonance frequency of the simulated antennas

방사슬롯길이( $\ell$ ) [mm]	공진 주파수 [GHz] (Simulation)	
	직사각형 슬롯안테나	제안된 안테나
14	7.5	8.2
12	8.6	9.3
10	10	10

## 4.2 실험 결과 및 고찰

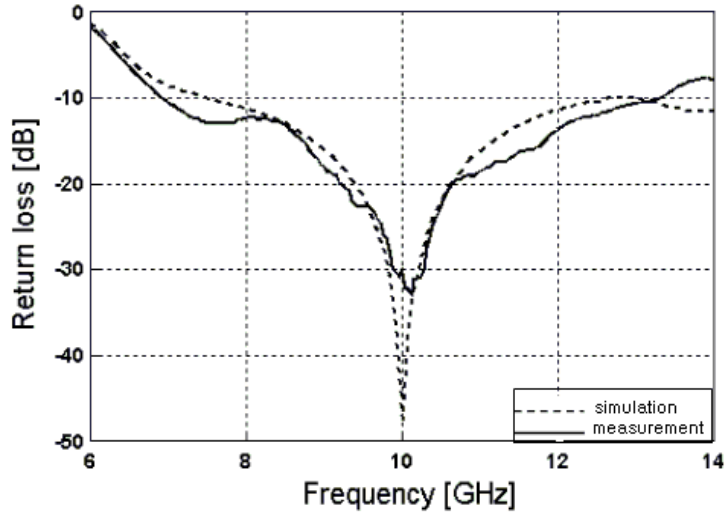


<그림 4-4> 제작된 보우-타이와 직사각형을 결합한 CPW 급전 광대역 슬롯안테나

<Fig. 4-4> Photography of fabricated slot antenna

<그림 4-4>는 실제 제작한 제안된 광대역 슬롯안테나이다. 제작된 안테나의 전체 크기는  $L=33.4\text{mm}$ ,  $W=15\text{mm}$ 이며 광대역 급전부 보우-타이 슬롯의 크기는 길이와 폭이  $15\text{mm}$ 를 갖으며 직사각형 슬롯의 길이는  $l=10\text{mm}$ ,  $w=2\text{mm}$ 로 설정했다. 제작한 안테나의 반사손실을 모의 실험한 결과 및 측정결과를 비교하여 <그림 4-5>에 나타내었다. 제작된 안테나는  $10\text{GHz}$ 에서 공진되고  $10\text{dB}$  임피던스 대역폭은  $6.36\text{GHz}$  ( $6.96\sim 13.32\text{GHz}$ )로 63%에 달하는 광대역 특성을 얻을 수 있었으며 시

플레이션 결과와 유사함을 알 수 있다.

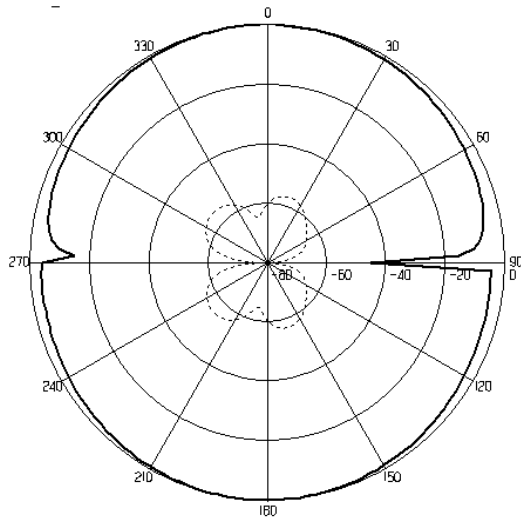


<그림 4-5> 모의실험 및 측정 한 반사손실

<Fig. 4-5> Return loss of simulation and measurement

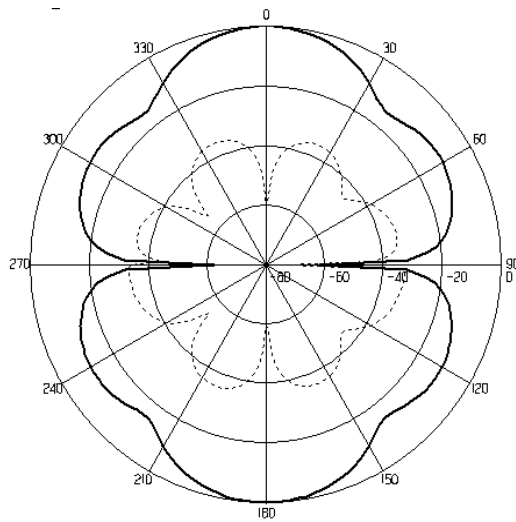
모의 실험한 10 GHz에서의 복사패턴을 <그림 4-6>에 나타내었다. 제안된 안테나는 슬롯을 기준으로 전후방으로 방사하는 양방향성을 갖는다. E 평면 복사패턴과 H 평면 복사패턴은 대칭구조로서 전후방 정 방향으로 방사되며 0°에서 최대가 된다. E 평면 3 dB 빔 폭은 120°정도이며 안테나 이득은 10 GHz에서 6.36 dBi 값을 가졌다.





(a) E 평면 복사패턴

(—— E plan co-pol, ..... E plan x-pol)



(b) H 평면 복사패턴

(—— H plan co-pol, ..... H plan x-pol)

<그림 4-6> 제안된 슬롯안테나의 모의실험 복사패턴 (10GHz)

<Fig. 4-6> Simulated radiation pattern of proposed slot antenna

## 제 5 장 결 론

본 논문에서는 UWB 통신 등 광대역 무선 서비스의 도래에 발맞춰 광대역 안테나의 요구가 증가함에 따라서 기존 평판형 안테나의 종류와 광대역화 기법에 대해 살펴보았고, 새로운 형태의 방사소자를 활용한 CPW 급전 광대역 슬롯안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 직각삼각형과 보우-타이 및 직사각형 슬롯을 결합한 형태의 CPW 급전 광대역 슬롯안테나이다.

직사각형 슬롯안테나의 임피던스 정합이 슬롯의 폭에 좌우됨에 착안하여 슬롯의 길이에 따라 폭이 점증적으로 증가하는 직각삼각형 슬롯을 활용한 광대역 안테나를 개발하였고 임피던스 정합을 위해 삼각형 노치를 삽입하는 형태를 제안하였으며 보우-타이 슬롯과 직사각형 슬롯을 결합한 형태의 슬롯안테나는 직사각형 방사슬롯의 수를 늘리고 직사각형 방사슬롯과 보우-타이 슬롯의 공진을 활용한 형태를 제안하였다. 이 경우 안테나 임피던스 정합은 직사각형 슬롯의 폭과 보우-타이 슬롯의 형태를 변형시키는 방법으로 광대역 특성을 유도하였다.

CPW 급전 직각삼각형 슬롯안테나의 경우 10 dB 임피던스 대역폭은 4.74~13.1 GHz에 달하여 2.76:1이고, 보우-타이와 직사각형 슬롯 결합형의 경우 10 dB 임피던스 대역폭은 6.96~13.32 GHz에 달하여 1.91:1로써 광대역 특성을 얻을 수 있다.

향후 UWB 통신 등 광대역 서비스 무선시스템의 발전과 더불어 광대역 안테나의 수요가 증가할 것으로 예상되고 본 논문에서 제안하는 안테나는 소형화에 관한 연구가 보완되어진다면 광대역 무선통신용 안테나로서의 사용이 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] K. S. Fong, H. F. Puse, and M. J. Withers, "Wideband multilayer coaxial fed microstrip antenna element, " *Electron. Lett.*, Vol. 21, no. 11, pp. 497-499, May. 1985.
- [2] Y. L. Chow, Z. N. Chen, K. F. Lee and K. M. Luk, " A design theory on broadband patch antennas with slot," *IEEE AP-S Int. Symp. Dig.*, pp. 1124-1127. 1998.
- [3] K. L. Wong and J. Y. Jan, "Broadband circular microstrip antenna with embedded reactive loading," *Electron Lett.*, Vol. 34, pp. 1804-1805, 1998.
- [4] K. L. Wong and W. H. Hsu, "Broadband triangular microstrip antenna with U-shaped slot," *Electron Lett.*, Vol. 33, pp. 2085-2087, 1997.
- [5] E. Vourch, M. Drissi, and J. Citerne, "Slotline dipole fed by a coplanar waveguide," *IEEE Microwave Theory and Technique Dig.*, Vol. 2, pp. 2208-2211, June 1994.
- [6] E. A. Soliman, S. Brebels, P. Delmotte, G. A. E. Vandenbosch and E. Beyne, "Bow-tie slot antenna fed by CPW," *Electron. Lett.* Vol. 35 No. 7, pp. 514-515, 1999.
- [7] 서영훈, 박익모, "광대역 특성을 갖는 변형된 원형 링 마이크로스트립 슬롯안테나," 한국전자과학회논문지, 11(5), pp. 773-781, 2000년 8월.
- [8] Thomas M. Weller, Linda P. B. Katehi and Gabriel M Rebeiz, "Single and Double Folded-Slot Antennas on Semi-Infinite

- Substrates," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 43, No. 12, pp. 1423-1428, 1995.
- [9] Huan-Shang Tsai, and Robert A. York, "FDTD analysis of CPW-fed folded-slot and multiple-slot antennas on thin substrates," *IEEE Trans. Antennas Propagat.* Vol. 44, pp. 217-226, Feb. 1996.
- [10] Alpesh U. Bhoje, Christopher L. Holloway, Melinda Picket-May, "CPW fed wide-band hybrid slot antenna," *IEEE Int. Antennas Propagat. Symp. Dig.* Vol. 38, pp. 636-639, July. 2000.
- [11] E. A. Soliman, and S. Brebels, and E. Beyne, and G. Vandenbosch, "Brick-wall antenna fed by CPW," *IEEE Int. Antennas Propagat. Symp. Dig.* Vol. 36, pp. 912 - 915, June. 1998.
- [12] Xueru Ding and Arne F. Jacob, "Novel Broadband Slot Antenna with Low Cross-Polarization," *Annual report 1995, Institut for Hochfrequenztechnik, TU Braunschweig.*
- [13] J. F. Zurcher and F. Gardiol, "*Broadband Patch antennas,*" *Norwood, MA: Artech House,* 1995.
- [14] J. Wang, V. Tripp, "Design of Multioctave Spiral Mode Microstrip Antennas," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation,* Vol. 39, No. 3, pp. 332-335, March. 1991.
- [15] Wen, C. P., "Coplanar Waveguide: A Surface Strip Transmission Line Suitable for Non-Reciprocal Gyromagnetic Device," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech,* Vol. MTT-17,

pp. 1087-1090, Dec. 1969

- [16] Santiago Sierra-Garcia and Jean-Jacques Laurin, "Study of CPW Inductively Coupled Slot Antenna," *IEEE Trans. Antennas Propagat. APS*, Vol. 47, No. 1, pp. 58-64, 1999.
- [17] G. A. Thiele, E. P. Ekelman, and L. W. Henderson, "On the Accuracy of the Transmission Line Model of the Folded Dipole," *IEEE Trans on Antennas and Propagation*, Vol. AP-28, No. 5, pp. 700-703, September. 1985.
- [18] C. A. Balanis, "*Antenna Theory Analysis and Design*," *John Willey & Sons*, 1982.
- [19] 김기수, 박동국, "초광대역 CPW 급전 삼각형 슬롯안테나," 2002 추계 마이크로파 및 전파 학술대회 논문집, 제 25권, 제 2호, pp. 293-296, 한국통신학회, 2002
- [20] 김기수, 박동국, "초광대역 CPW 급전 슬롯 안테나," 한국전자과학 회논문지, 제14권, 제7호, pp. 663-668 , 한국전자과학회, 2003.
- [21] R.E. Collin, "*Filed Theory of Guided Waves*," Sec. 1.8, *IEEE Press, Piscataway, NJ*, 1990.
- [22] R.E. Collin, "*Antennas and Radiowave Propagation*," Sec. 4.12, *McGraw-Hill*, New York, 1985.

## 감 사 의 글

사회에 나가는 준비 기간이 너무나 길었을까! 스물아홉의 나이에 첫 직장을 잡고 이제 첫 걸음을 내딛고 있습니다. 직장에서의 생활은 낯설고 사뭇 다릅니다. 자신이 적극적이지 못하면 배우는 것이 극히 적고 누가 애써 찾아가며 도와주지 않습니다. 그래도 대학원에서 공부했던 것들을 하나씩 확인해 나가는 즐거움도 있습니다.

이렇게 졸업논문으로 그 동안의 연구실 생활을 마감하면서 만 5년여의 긴 연구실 생활을 보내는 동안 언제나 너그러이 지도해주시고 보살펴주신 박동국 교수님께 진심으로 깊은 감사를 드립니다. 이십대의 처음과 끝을 메운 해양대학교내의 모든 지인들께 아울러 감사의 뜻을 전합니다. 특히 연구실 생활을 함께 하며 공부했던 성문 선배님, 형동 선배님, 동기생인 종환, 경대와 언제나 성실하게 함께 공부하며 도움이 되어준 후배인 인용, 천수, 순범, 현, 준희, 태경, 현진, 성진, 동춘, 현주에게 고마움을 전합니다. 그리고 논문을 지도해 주시고 심사해 주신 김기문 교수님, 양규식 교수님께도 진심 어린 감사의 말씀을 올립니다.

자식의 객지생활 뒷바라지에 헌신적이신 어머니님과 동생 잘 되라고 여러 모로 충고를 해 주시는 형님, 형수님, 자형들과 누이들에게 깊은 감사의 글을 드립니다. 아울러 제게 언제나 힘이 되어 주고 있는 은경에게도 감사의 맘을 전합니다.

재학시절동안 교수님의 가르침과 많은 분들의 도움으로 졸업논문의 작은 성과를 얻었습니다. 저를 걱정해주시고 믿어주시는 모든 분들의 기대에 여러분들의 가르침에 어긋남이 없이 열심히 노력하며 살아가겠습니다.

마지막으로 자식 졸업하는 것도 못보고 눈을 감으신 아버지께 미력한 제 결실을 바칩니다.