creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000264594

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2015년 02월

석사학위논문

UWB 테이퍼드 슬롯 안테나 설계 및 구현

조선대학교 산업기술융합대학원

I T 융 합 공 학 과

김 병 성

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

UWB 테이퍼드 슬롯 안테나 설계 및 구현

Design and Implementation of UWB Tapered Slot Antenna

2015년 02월 25일

조선대학교 산업기술융합대학원

I T 융 합 공 학 과

김 병 성

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

UWB 테이퍼드 슬롯 안테나 설계 및 구현

지 도 교 수 최 동 유

이 논문을 석사학위신청 논문으로 제출함

2014년 10월

조선대학교 산업기술융합대학원

I T 융 합 공 학 과

김 병 성

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

김병성의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교 수 한 승 조 (인)

위 원 조선대학교 교 수 김 정 화 (인)

위 원 조선대학교 교 수 최 동 유 (인)

2014년 11월

조선대학교 산업기술융합대학원

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

목 차

표 목 차 ····· iii

그 림 목 차 ····· iv

ABSTRACT ····· vi

제 1 장 서 론 ····· 1

제 2 장 UWB 안테나 이론 ····· 3
2.1 UWB 기술의 개요 ····· 3
2.2 UWB 기술의 특징 ····· 5
2.3 UWB 안테나 종류 및 특성 ····· 7
2.3.1 나비넥타이 구조 안테나 ····· 7
2.3.2 대수주기 구조 안테나 ····· 8
2.3.3 스파이럴 구조 안테나 ····· 9
2.3.4 프렉탈 구조 안테나 ····· 9
2.3.5 테이퍼드 슬롯 안테나 ····· 10
2.4 안테나 측정 이론 ····· 12
2.4.1 정재파비 ····· 12
2.4.2 대역폭 ····· 13
2.4.3 전력방사 패턴 ····· 14
2.4.4 반치전력 빔폭과 부엽레벨 ····· 15
2.4.5 지향성, 이득, 효율 ····· 15

제 3 장 안테나 설계 및 제작 ····· 18

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.1 안테나 설계 및 시뮬레이션 ····· 19
3.1.1 테이퍼드 슬롯 안테나 설계 ····· 19
3.1.2 임피던스 변환기 설계 ····· 20
3.1.3 시뮬레이션 예측 결과 ····· 21
3.2 안테나 제작 및 측정 ····· 29

제 4 장 결 론 ····· 32

참 고 문 헌 ····· 33

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 목 차

표 2-1. UWB기술과 다른 통신 기술과의 비교 ····· 5
표 3-1. 제안한 안테나의 상세 크기 ····· 19
표 3-2. FR4_epoxy 기판의 주요 파라미터 ····· 20
표 3-3. 제안한 안테나의 이득 예측 값 ····· 28

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그 림 목 차

그림 2-1. 주파수 대역폭별 통신 시스템의 분류 ····· 3
그림 2-2. FCC 전력스펙트럼마스크 ····· 4
그림 2-3. 나비넥타이 구조 안테나 예 ····· 8
그림 2-4. 대수주기 구조 안테나 예 ····· 8
그림 2-5. 스파이럴 구조 안테나 예 ····· 9
그림 2-6. 여러 가지 프렉탈 구조 예 ····· 10
그림 2-7. 테이퍼드 슬롯 안테나 예 ····· 11
그림 2-8. VSWR = 2 대역폭 ····· 13
그림 2-9. 안테나 패턴 좌표 ····· 14
그림 2-10. 안테나 패턴 특성 ····· 15
그림 2-11. 안테나 종류별 이득 비교 ····· 17
그림 3-1. 제안한 테이퍼드 슬롯 안테나의 구조 ····· 18
그림 3-2. 지수 변환기 구조 ····· 21
그림 3-3. W_t 변화에 따른 반사손실 및 정재파비 예측 값 ····· 22
그림 3-4. L_t 변화에 따른 반사손실 및 정재파비 예측 값 ····· 24
그림 3-5. 제안한 안테나의 반사손실 및 정재파비 예측 값 ····· 25
그림 3-6. 제안한 안테나의 방사패턴 예측 값 ····· 27
그림 3-7. 제안한 안테나의 이득 예측 값 ····· 27
그림 4-1. 실제 제작한 테이퍼드 슬롯 안테나 ····· 29
그림 4-2. 제안한 안테나의 실측 결과 ····· 30

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

Design and Implementation of UWB Tapered Slot Antenna

Byung Sung Kim
Advisor: Prof. Dong You Choi, Ph.D.
Department of IT Convergence Engineering,
Graduate School of Industry, Chosun University

In this paper, we have presented the IR-UWB tapered slot antenna suitable for narrow space inside the building that is aware of the position of the target. The designed tapered slot antenna is able to induce 25% or more of the operating frequency bandwidth set by the FCC through the change in the physical length of the slot antenna

The end-fire radiation pattern has a directional characteristic. The UWB applications have been expanded by miniaturizing the conventional UWB antenna.

The proposed tapered slot antenna is simple to manufacture because of low precision dimensional tolerances. It has light weight and unlimited bandwidth.

The width (W_t) and length (L_t) of the antenna is 52mm and 55mm respectively. The simulation result shows appreciable output for bandwidth of 4.1 GHz (2.3~6.4 GHz). The gain of the antenna at 3 GHz, 4 GHz and 5 GHz is 5.18 dBi, 5.37 dBi, and 7.05 dBi respectively. This shows that gain is increasing with the increase of frequency.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

The measured return loss of tapered slot UWB antenna has been obtained for 3.93 GHz bandwidth at 3.26~6.99 GHz and VSWR is less than 2.

Hence, the proposed antenna has shown sufficient broadband characteristics and is suitable for IR-UWB applications for positioning of objects.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 1 장 서론

최근 무선 시스템의 급속한 발달로 어플리케이션이 증가하고 있으며 다양한 무선 시스템 기술에 대한 관심 및 연구 또한 증가하고 있다. 이에 UWB (Ultra Wide Band) 기술은 기존의 협대역 시스템이나 광대역 CDMA 시스템에 비해 중심 주파수 25% 이상의 점유 대역폭에 걸쳐 상대적으로 낮은 스펙트럼 전력 밀도가 존재한다. 그러므로 기존의 무선통신 시스템에 간섭을 주지 않고 주파수를 공유하여 사용할 수 있기 때문에 투과 레이더, 토목공학용 비파괴 탐상 레이더, 위치 정밀추적 장치, 의료 및 무선통신 등의 다양한 분야에 상당이 큰 응용 가치를 갖는다.

특히, IR-UWB (Impulse-Radio Ultra Wide Band) 기술은 저 비용, 저 소비전력으로 실내에서 수십 ㎝ 급의 정밀한 위치 인식·추적 기능을 가능하게 함으로써 기존의 카메라 기반 및 적외선을 이용한 실내 감시 시스템을 보완할 수 있는 기술로 기대되고 있다[1][2].

IR-UWB의 응용분야는 크게 단거리 통신(short range communication), 거리 측정(measurement system), 차량 레이더(vehicular radar system) 및 이미징 시스템(imaging system) 등으로 분류할 수 있다. 실제 응용에 따라서 실내・외 통신 시스템, 지표투과 레이더(GPR: Ground Penetrating Radar), 벽 투과 레이더(through wall radar), 의료영상 레이더(medical imaging radar), 토목공학용 비파괴 탐상 레이더(non destructive testing radar) 및 차량용 레이더(vehicular radar)등으로 나눌 수 있다[3].

본 논문에서는 지상 건물의 실내 위치인식을 위해 좁은 공간의 목표물 위치 인식에 적합한 IR-UWB 테이퍼드 슬롯 안테나를 제안하였다. 테이퍼드 슬롯 안테나에서 슬롯 폭의 물리적 길이 변화를 통해 FCC에서 규정한 동작 주파수 25% 이상의 대역폭을 유도하였다. 또한, 사물의 위치 인식에 적합한 지향성 방사를 갖는 end-fire 동작 특성을 유도하였으며, 기존의 UWB 안테나의 소형화를

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

통한 응용 분야를 확대 하고자 제안하였다.

제안한 UWB 안테나는 Ansys사의 HFSS (High Frequency Simulator)를 사용하여 설계 및 시뮬레이션을 하였으며, 주파수 영역에서의 반사손실 및 정재파비, 방사패턴 등을 분석하였다.

이를 위해 제 2 장에서는 연구 전 선행이론으로서 UWB 안테나에 대한 일반적인 이론을 고찰 하였다. 제 3 장에서는 3차원 안테나 설계 프로그램인 Ansys사의 HFSS ver.12를 이용하여 안테나의 물리적 길이 변화에 따른 특성을 분석하였으며, 시뮬레이션 결과를 바탕으로 안테나를 제작 및 측정하였으며, 제 4 장에서는 연구 결과에 대한 결론을 맺는다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 2 장 UWB 안테나 이론

2.1 UWB 기술의 개요

UWB 기술은 1950년대에 미국 국방부가 군사적 목적으로 개발하였으나 항공과 모바일 통신 시스템에 영향을 미칠 수 있다는 이유로 기술사용을 제한해 왔으며, 미국 연방통신위원회(FCC: Federal Communication Commission) 또한 오랫동안 상업적 이용을 제한하고 있었다[4].

그러나 이미 이 기술을 보유하고 있던 미국 내의 군사 연구소들과 Time Domain사 등의 기업들에 끊임없는 연구와 요구로 FCC가 2002년 2월 14일 이 기술의 상업적 용도를 승인하였다. 일반적으로 그림 2-1과 같이 주파수 대역폭에 따라 UWB 시스템을 정의 할 수 있으며 UWB 신호는 중심주파수에 대해 상대적 대역폭(fractional bandwidth)이 25% 이상 이거나 대역폭이 500 MHz 이상을 만족하는 신호로 정의하고, 비 대역폭(fractional bandwidth) 식 (2-1)과 같이 나타낼 수 있다[5-7].

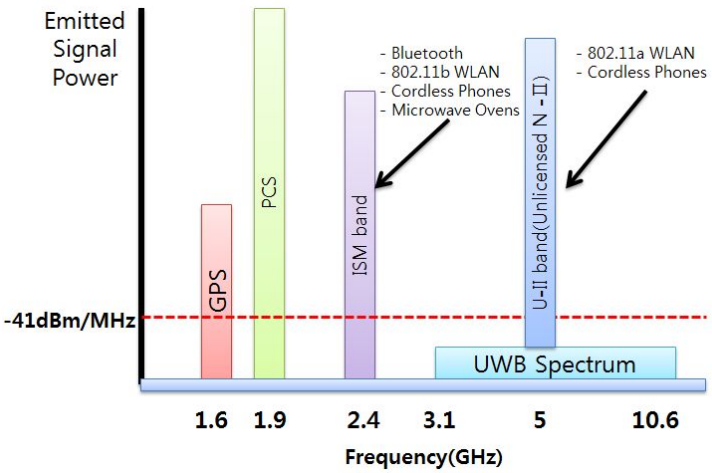


그림 2-1. 주파수 대역폭별 통신 시스템의 분류

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

$$Fracational\,Bandwidth = \frac{f_H - f_L}{\frac{f_H + f_L}{2}} \times 100\% \qquad (2\text{-}1)$$

여기서, f_H 와 f_L 은 신호 스펙트럼의 -3 dB 지점의 상한 주파수와 하한 주파수이다. 일반적으로 미국에서는 중심 주파수에 대한 대역폭 비율이 25% 이상을, 러시아에서는 중심 주파수의 100% 이상의 대역폭을 UWB로 정의하고 있으며, 그림 2-2와 같이 FCC는 UWB 시스템을 중심 주파수의 20% 이상의 상대적 대역폭 혹은 500 MHz이상의 대역폭을 갖는 시스템으로 정의하고 있다. 또한, 대역폭의 상한 주파수와 하한 주파수도 -10 dB 지점 이하로 엄격하게 제한하고 있다[8].

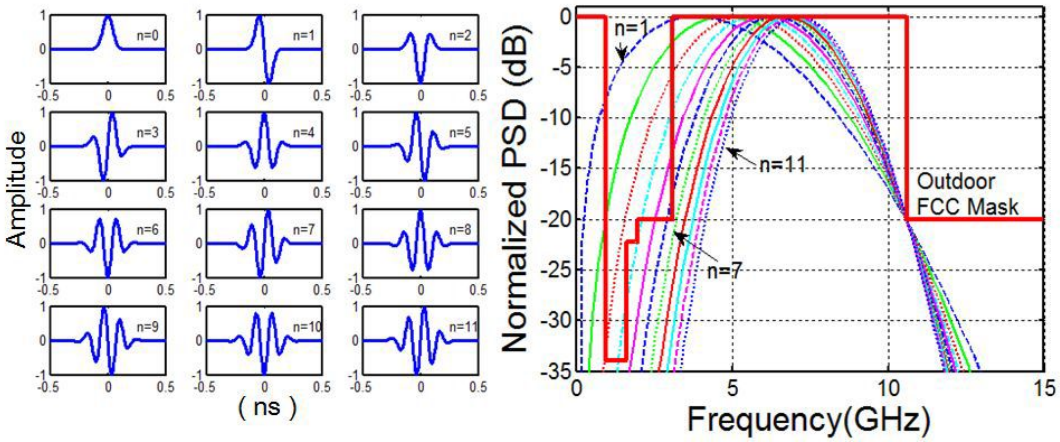


그림 2-2. FCC 전력스펙트럼마스크

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.2 UWB 기술의 특징

UWB 기술은 다른 통신 시스템 및 협대역 신호 기술과 달리 다양한 특징이 있으며 다음 표 2-1과 같다.

표 2-1. UWB 기술과 다른 통신 기술과의 비교[9]

	WLAN 11g	WLAN 11n	Bluetooth	ZigBee	UWB
Freq. Band	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz	868/915 MHz 2.4 GHz	3.1 ~ 10.6 GHz
bps	54 Mbps	500 Mbps	1 Mbps	20/40/250 Kbps	수 Gbps
Coverage	1 km	1 km	10 m	30 m	1 ~ 10 m
다중 접속 방식	OFDM/DSSS	MIMO-OFDM	Freq. Hopping	CSMA-CA	MB OFDM DS-CDMA
특징	-	-	다양한 통신지원 (음성, 팩스, AV)	- 긴수명 - 저전력 - 전송 안정성	- 고속 Data전송 - 간섭에 강함
응용 분야	Hotspot [Note PC]	Hotspot [PC→Mobile]	근거리 유선 대체	저전력 저가의 기기 제어	근거리 고속 통신

첫째, UWB는 고속 데이터 전송이 가능하며 대역폭이 초 광대역이므로, 1 ~ 10 미터의 근거리에서 수백 Mbps ~ 수 Gbps의 데이터 전송이 가능하다.

둘째, UWB 신호는 정밀한 거리 분해능을 갖는다. *ns* 단위의 펄스신호를 전송함에 따라, cm 단위의 정밀한 거리 분해능이 있다. 지표투과 레이더, 벽 투과 레이더 및 탐색·구조 레이더 등의 분야에 적용될 경우, 수 m 깊이의 지하에 매설된 광물이나 암반구조 뿐만 아니라, 벽과 구조물 뒤에서 이동하거나 은닉된 표적을 정밀하게 탐색 및 추적할 수 있으며, 지진 및 건물붕괴 등으로 인해 매

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

몰된 인명을 구조하는데 활용할 수 있다[3].

셋째, UWB 시스템은 기존의 협대역 시스템과 간섭을 일으키지 않는다. UWB 시스템은 신호 전력을 넓은 주파수 스펙트럼으로 나누어 전송함으로써 매우 낮은 전력레벨로 동작한다. 또한, 임의의 주파수에 대해 이러한 확산효과는 기존 무선 시스템에서 잡음과 같은 특성을 가진다. 따라서, UWB 시스템은 기존의 협대역 시스템에 대한 영향이 거의 없는 공존성이 뛰어난 기술이다.

넷째로, UWB 기술은 보안성이 매우 뛰어나 군 무전기에서 안전한 통신 시스템으로 적합하다. 의사 잡음(pseudo noise)으로 변조된 UWB 신호는 낮은 에너지 밀도로 인해 잡음과 같은 특성을 가지며 이러한 신호특성은 탐지를 어렵게 한다. 실제 잡음은 일정한 모양이 없으나 의사 잡음은 특별한 모양과 패턴을 갖는다. 인위적인 간섭이 펄스를 전체 스펙트럼으로 일정하게 확산시켜 전력을 약화시키므로 잡음이 펄스를 제거하는 것은 거의 불가능하다. 스펙트럼의 일부인 간섭은 수신신호 레벨을 감소시키지만 펄스신호는 여전히 복구 가능하다. 따라서, UWB 시스템은 어떠한 무선전송 시스템보다 가장 보안성이 뛰어나 높은 보안성을 요구하는 군 무전기에서 안전한 통신 수단으로 적합하다.

마지막으로 UWB는 기존의 통신 시스템인 WLAN, Bluetooth 등에 비해 높은 전송 속도와 낮은 전력 소모 등의 장점을 갖고 있다. 따라서, 고성능 휴대용 기기간의 접속기술 방식으로 낮은 전력 소모는 휴대용기기의 배터리 문제 해결에 영향을 미칠 수 있다.

그러나 UWB 기술은 기존의 협대역 안테나를 가지고는 넓은 주파수 대역폭에서 일정 진폭과 일정 그룹 지연 특성을 유지할 수 없다. ns 단위의 시간영역 신호를 전송하는 UWB 안테나 구조로 인한 전파분산 특성은 필연적이며 최소 분산을 갖는 UWB 안테나 구현을 위해서는 다양한 분석과 연구가 필요하고, UWB의 단점인 동작 영역의 확대와 소형화가 필요하다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.3 UWB 안테나 종류 및 특성

UWB 시스템은 주파수 대역이 광대역이므로 광대역 특성을 가진 안테나를 설계해야 한다. 광대역 특성은 일반적으로 안테나의 빔폭이나 이득에 의해서 정의될 수 있지만, 안테나의 동작 특성 면에서 본다면 주파수 대역에 의해서 정의될 수 있다. 따라서, UWB 안테나는 광대역 특성뿐만 아니라 주파수에 따라 일정한 이득과 일정한 이득 변화율을 통해서 신호의 왜곡을 줄여야 한다. 또한, UWB 안테나는 넓은 복사패턴이 요구된다. 안테나의 입력 단에서 반사손실이 -10 dB 이하가 되도록 임피던스 정합이 필요하다.

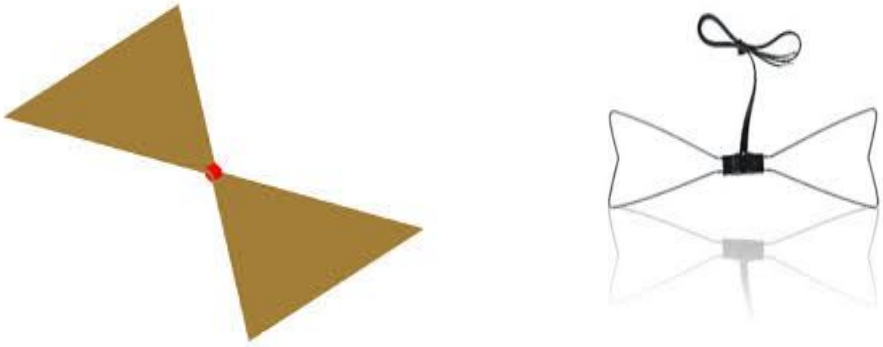
이러한 UWB 안테나의 광대역 특성을 갖는 안테나는 다양한 구조를 갖고 있으면 그러한 구조에는 크게 나비넥타이(bow-tie) 구조 안테나, 대수주기 구조 안테나, 스파이럴 구조 안테나, 프렉탈 구조 안테나, 테이퍼드 슬롯 안테나(비발디 안테나)등 무선 시스템에 따라 다양한 구조를 갖는다.

2.3.1 나비넥타이 구조 안테나

나비넥타이 구조 안테나는 일반적으로 선형 다이폴 안테나와 복사패턴이 비슷한 특성을 나타내며 작은 크기의 구조로 그림 2-3과 같다. 두 개의 패치를 붙여놓은 것과 같지만 보통의 패치 안테나 보다 넓은 동작 주파파수를 갖고 있기 때문에 무선 통신 시스템에 많이 사용된다. 또한, 제작비용이 저렴하고 무게가 적다는 장점을 갖고 있다. 그러나 안테나 설계에 있어서 파라미터 설정이 어렵고 그에 따른 공진주파수가 민감한 단점을 갖고 있다[10][11].

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 패치형 구조 (b) 다이폴형 구조

그림 2-3. 나비넥타이 구조 안테나 예

2.3.2 대수주기 구조 안테나

그림 2-4와 같이 대수주기 구조 안테나는 다이폴 안테나의 형태를 갖고 있으며, 안테나의 길이에 의해 다중 공진을 발생하면서 광대역 특성을 갖는다. 또한, 대수주기 구조 안테나는 안테나의 특성 변화가 크지 않아 고정적인 주파수에 널리 사용된다[12-18].

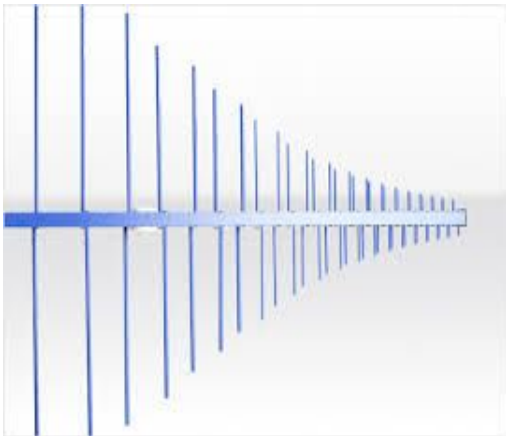


그림 2-4. 대수주기 구조 안테나 예

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.3.3 스파이럴 구조 안테나

스파이럴 구조 안테나는 공진 주파수에 따라 안테나 길이와 회전 각도의 변화로 광대역 특성을 유도한다. 일반적으로 편파 특성을 갖는 스파이럴 구조 안테나는 그림 2-5와 같이 원형 또는 사각형의 구조를 보이며 안테나의 대역폭은 반지름의 크기에 따라 변화한다. 또한, 양방향성 방사를 하는 특징을 갖고 있으며 backing cavity를 이용하여 뒤쪽 방향으로의 방사에 대한 반사판으로 하고 주파수의 독립특성을 이용하여 지반 탐사 및 군사적 용도로 사용되고 있다 [12-18].

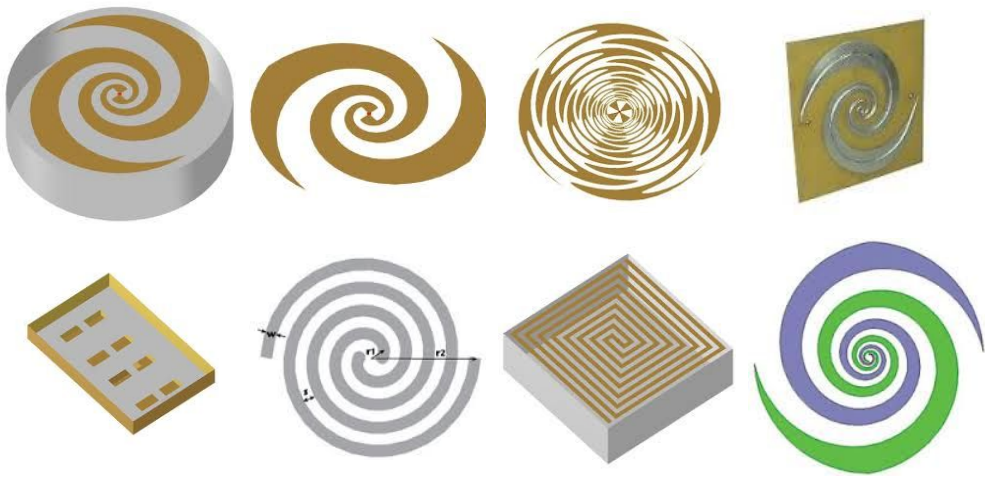


그림 2-5. 스파이럴 구조 안테나 예

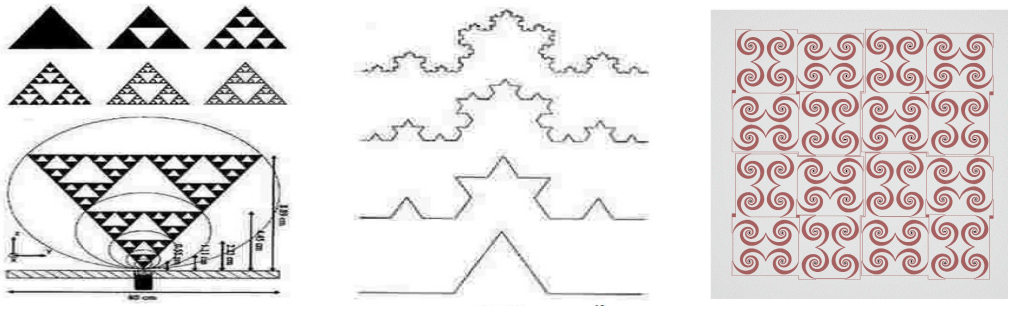
2.3.4 프렉탈 구조 안테나

프렉탈 구조 안테나는 안테나의 크기를 줄이기 위해 제안된 것으로 다이폴이나 패치 형태로 구현이 가능하며 그림 2-6과 같이 다양한 구조를 갖는다. 특히, 마이크로스트립 선로 형태인 패치형으로 구현이 가능하며 프렉탈 구조의 반복

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

으로 인한 다중 공진 특성을 갖기 때문에 광대역의 사용이 가능하고 적은 반사 손실을 나타내는 특성을 갖는다[12-18].



(a) sierpinski triangle 구조 (b) kuch curve 구조 (c) grid sprial array 구조

그림 2-6. 여러 가지 프렉탈 구조 예[19]

2.3.5 테이퍼드 슬롯 안테나

테이퍼드 슬롯 안테나는 그림 2-7과 같은 평면 구조를 갖으며 유전체 두께와 유전율에 따라 공진 주파수 및 동작이 결정된다. 테이퍼된 슬롯의 방사원리는 end-fire 방향으로 슬롯의 방사체를 따라 진행파가 방사됨에 따라 다기능 레이더 통신 시스템에 사용되며 통신뿐만 아니라 정밀 측위 시스템에 사용된다.

또한, 테이퍼드 슬롯 안테나는 진행파형 안테나로 전자기파는 광속보다 느린 위상 속도로 안테나 기판 표면을 따라 전파한다. 또한, 전자기파는 금속 테이퍼의 슬롯을 따라 진행하면서 안테나의 기판 끝에서 자유공간으로 방사될 때까지 증가하면서 움직인다. 따라서, 테이퍼 슬롯 구조는 광대역 대역폭을 확보할 수 있는 장점이 있다

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 2-7. 테이퍼드 슬롯 안테나 예

테이퍼드 슬롯 안테나는 평면 구조임에도 개구(aperture) 크기를 고려할 경우 혼(horn) 안테나와 비교할 만한 빔 특성을 가질 뿐만 아니라 광대역 특성과 E-평면 및 H-평면에서 대칭적인 방사패턴을 형성하며, 기존의 평면 안테나 보다 높은 이득을 갖는다.

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

2.4 안테나 측정 이론

2.4.1 정재파비 (VSWR: Voltage Standing Wave Ratio)

1-포트 회로의 안테나 성능은 소스와 안테나 사이의 임피던스 부정합으로 인해 반사되는 신호의 양을 알려주는 단일 산란계수 S_{11} 또는 반사계수 Γ로 표현된다. 그에 따른 입력 VSWR과 반사손실은 식 (2-2), (2-3)과 같다.

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \tag{2-2}$$

$$\text{반사손실} = -20\log|\Gamma| \quad [dB] \tag{2-3}$$

최적의 VSWR은 $|\Gamma|=0$ 또는 VSWR = 1일 때이다. 이것은 모든 전력이 안테나로 전송되고 반사가 일어나지 않음을 의미한다. 일반적으로 VSWR≤2가 대부분 안테나에서 적절한 VSWR 값의 기준으로 사용된다. 안테나에서 반사되는 전력의 양은 소스에서 가능한 전력에 $|\Gamma|^2$ 을 곱한 만큼이 되며, 안테나에 결합하는 전력은 소스에서 가능한 전력에 $(1-|\Gamma|^2)$을 곱한 값이 된다.

입력 임피던스는 안테나에서 바라보는 1-포트 임피던스로서 안테나와 연결된 송신기 또는 수신기에서 안테나로 표현되는 임피던스이다. 입력 임피던스는 식 (2-4)와 같이 주어진다.

$$Z_{in} = Z_0 \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \tag{2-4}$$

여기서, Z_{in}은 입력 임피던스, Z_0는 연결하는 전송선로의 특성 임피던스이다. 완벽한 정합을 위해서는 입력 임피던스가 Z_{in}이 특성임피던스 Z_0와 같아 한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.4.2 대역폭

안테나의 대역폭은 그 성능을 만족하게 하는 주파수 대역으로 정의하며, 일반적으로 대역폭은 중심 주파수의 백분율로 나타내고 상한 주파수와 하한 주파수의 비율로 정해진다. 안테나의 특성은 주파수의 변화에 따라 여러 특성이 영향받기 때문에 대역폭의 유일한 정의는 존재하지 않는다. 가장 일반적으로 사용되는 대역폭의 정의는 패턴 대역폭과 임피던스 대역폭이다.

안테나에 입력되는 전력은 주파수에 대한 입력 임피던스의 범위에 의해 결정된다. 그러므로 임피던스 대역폭은 입력 임피던스가 특정한 기준을 만족하는 주파수 대역을 의미한다. 통상적으로 이 기준은 VSWR≤2(또는 $|\Gamma| \leq \frac{1}{3}$)이 되며, 이는 입력전력의 약 11%가 반사가 되는 값이다[10]. 때로는 VSWR이 1.5보다 작거나 같아야 한다는 더욱 제한적인 조건이 요구되기도 한다. 또한, 안테나의 동작 대역폭은 일반적으로 임피던스 대역폭보다 값이 더 작고 이는 이득, 효율, 패턴 등 다른 파라미터 또한 주파수 함수로 나타나며 임피던스 대역폭을 저하할 수 있기 때문이다.

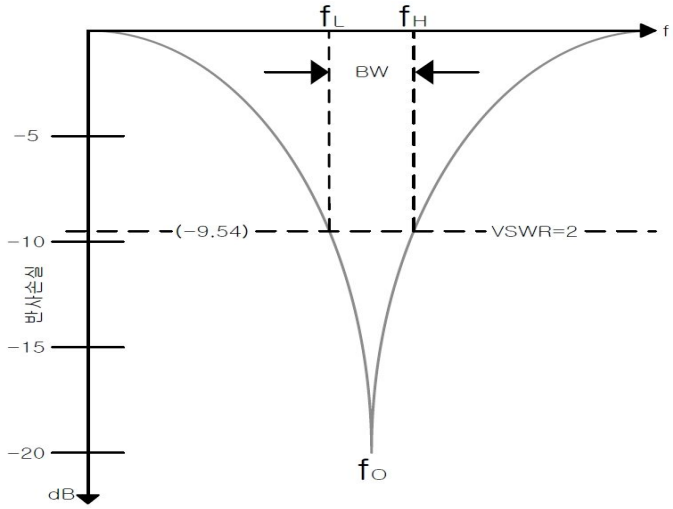


그림 2-8. VSWR = 2 대역폭[20]

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.4.3 전력방사 패턴

안테나에 의해 방사되는(또는 수신되는) 전력은 안테나의 거리와 각도에 의한 함수로 나타낸다. 전기적으로 먼 거리에서 전력밀도는 임의의 방향에 대해서 $1/r^2$으로 감소하며, 이때 r은 송·수신 안테나의 거리이다. 각도의 변화에 따른 전력밀도의 변화를 그리면 방사패턴이 되는데, 전기적으로 먼 거리에서(즉 원거리장 또는 평면파 영역) 패턴은 거리와 관계없이 주어진다. 안테나의 완전한 방사패턴은 안테나를 둘러싸고 있는 가상적인 공간 위로 그려진 전계 또는 자계를 나타내야 하지만, 때로는 중심 패턴에 대한 단면으로도 충분하다. 그림 2-9는 안테나 패턴의 단면이다. 안테나는 동일편파와 교차편파를 갖는 E면(E-plan) 패턴과 H면(H-plan) 패턴을 각각 갖는다. E면 패턴은 전계 벡터(E_Θ)와 최대값을 갖는 방사 방향을 포함하며, E_ϕ는 교차편파 성분이다. 동일하게 H면 패턴은 자계 벡터와 최대값을 갖는 방사 방향을 포함한다.

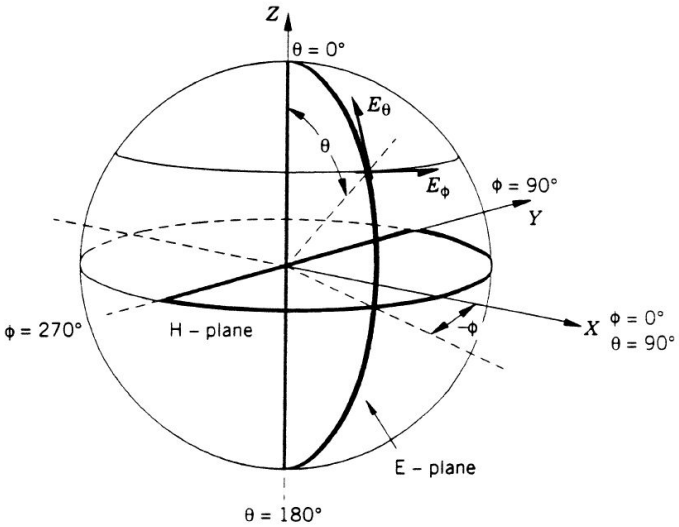


그림 2-9. 안테나 패턴 좌표[20]

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.4.4 반치전력 빔폭과 부엽레벨

반치전력 빔폭(half power beam width)은 방사 크기가 최대값의 반이 되는 지점(또는 -3dB 아래)의 각도 영역으로 정의하며, 부엽레벨(side lobel level)은 주엽(mainlobe)을 제외한 첨두값을 갖는 방사전력레벨을 의미한다. 부엽레벨은 일반적으로 주엽의 최대값 아래 dB 값으로 표현된다. 반치전력 빔폭과 부엽레벨은 그림 2-10과 같다. 그림에 나타낸 것처럼 첫 번째 널(null) 사이 빔폭을 FNBW (First Null Beam Width)라고 한다.

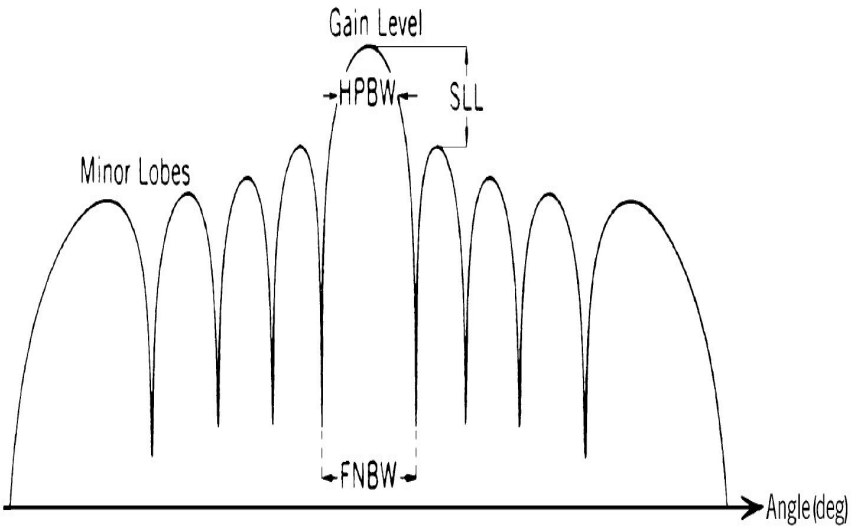


그림 2-10. 안테나 패턴 특성[20]

2.4.5 지향성, 이득, 효율

지향성 D_{max}는 최대값을 갖는 방향에서 방향이득의 값으로 정의된다. 지향성 이득 D(θ, ϕ)는 등방성 소스에 의해 방사되는 전력밀도에 대한 포인팅 전력밀도의 비로 정의되며 식 (2-5), (2-6)과 같다.

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

$$D(\theta,\phi)=\frac{\vec{S}(\theta,\phi)}{P_t/4\pi R^2} \tag{2-5}$$

$$D_{\max}=\frac{\vec{S}(\theta,\phi)\text{의 최대값}}{P_t/4\pi R^2} \tag{2-6}$$

여기서, $\vec{S}(\theta,\phi)=\frac{1}{2}Re[\vec{E}\times\vec{H}^*]$ 이다.

등방성 안테나의 지향성은 정의에 의해 1이며, 다른 안테나들은 1보다 큰 값을 갖는다. 따라서 지향성은 등방성 안테나에 비해 안테나의 지향성이 어느 정도 되는지를 나타내는 데 사용한다.

안테나의 이득 G는 지향성$D_{\max}$와 에너지를 방사하기 위한 안테나의 개구면 효율 η이 곱해진 값으로 정의된다.

$$G=\eta D_{\max} \tag{2-7}$$

$$\eta=\frac{P_{rad}}{P_{\in}}=\frac{P_{rad}}{P_{rad}+P_{loss}} \tag{2-8}$$

여기서, P_{rad}는 실제 방사된 전력이며, P_{in}은 안테나에 결합된 전력, P_{loss}는 안테나에서 손실된 전력이다. 일반적으로 빔폭이 줄어들면 이득은 증가한다. 일반적으로 안테나 종류별 이득 비교는 그림 2-11과 같다. 식 (2-7), (2-8)에서 최대값을 갖는 방향으로의 방사전력 밀도 $P_{d,\max}$는 $G(P_t/4\pi R^2)$이다[21].

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

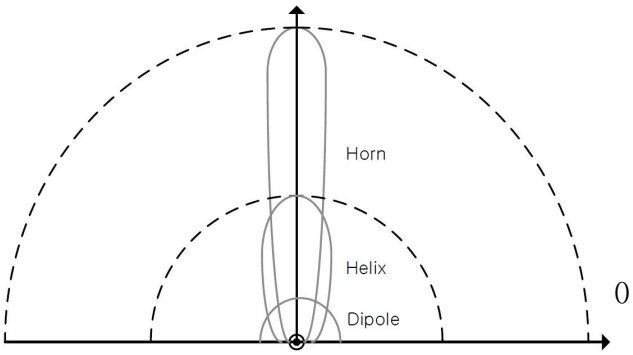


그림 2-11. 안테나 종류별 이득 비교[20]

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 3 장 안테나 설계 및 제작

테이퍼드 슬롯 안테나는 1979년 Gibson에 의해 처음으로 소개된 안테나로서 빔이 형성되는 슬롯 부분이 지수함수 특성을 갖는다[22]. 이론적으로 테이퍼드 슬롯 안테나는 정밀도가 낮은 치수공차로 인해 제작이 간단하면서도, 매우 넓은 대역폭을 갖으며 비교적 부피가 작고 무게가 가볍다는 장점이 있다.

그러나 이러한 테이퍼드 슬롯 안테나는 실제적으로 급전부에서 방사체까지 변화 정도나 안테나의 크기와 나팔 모양 등에 의해 안테나의 성능에 큰 영향을 받아 제한된 대역폭을 갖게 된다. 이러한 대역폭 제한을 극복하기 위해 Gazit은 앤티포달 테이퍼드 슬롯 안테나를 제안하였다. 이러한 특징을 통해 테이퍼드 슬롯 안테나의 방사체에 일정한 사각 슬롯을 삽입하여 제한된 대역폭을 갖으며, 그림 3-1과 같다[22].

제안한 안테나의 가로와 세로의 길이는 각각 W와 L이며, 방사가 이루어지는 테이퍼 슬롯의 개구면 길이는 W_t와 L_t이다. W_1, L_1, L_2는 임피던스 변화기의 폭과 길이이다.

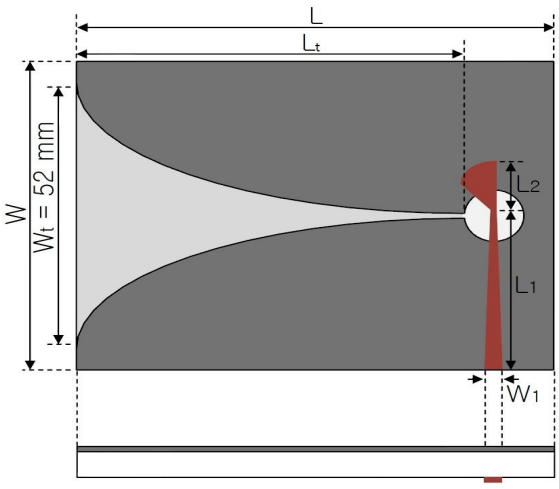


그림 3-1. 제안한 테이퍼드 슬롯 안테나의 구조

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

3.1 안테나 설계 및 시뮬레이션

3.1.1 테이퍼드 슬롯 안테나 설계

테이퍼드 슬롯 안테나의 개구면 크기는 동작 주파수의 최소 주파수에 의해 결정이 되며, 파장이 주파수에 반비례하므로 가장 긴 파장의 신호를 전송할 수 있어야 한다. 유전체 기판에서 가장 긴 파장의 신호를 전송하기 위해서는 식 (3-1)을 만족해야 한다.

$$W_1 = \frac{\lambda_g}{2} = \frac{c}{2f_{\min}\sqrt{\varepsilon_r}} \quad [\mathrm{mm}] \tag{3-1}$$

여기서, λ_g는 관내 파장(m), C는 빛의 속도(㎧), ε_r은 유전상수이다. 식 (3-1)에서 테이퍼드 슬롯 안테나는 저주파수에서 공진 안테나로 동작하며, 물리적 크기는 가장 낮은 동작 주파수 $f_{\min}$과 안테나 제작에 사용되는 ε_r에 의해 결정된다.

따라서, 식 (3-1)을 이용하여 원하는 대역폭에서 동작시키기 위한 테이퍼드 슬롯 안테나의 전체 크기를 구할 수 있다[23][24]. 제안한 테이퍼드 슬롯 안테나는 유전체 기판을 포함한 구조로서 그림 3-1과 같으며, 설계 이론을 기반으로 반복 수정을 통해 최종 제안한 안테나의 상세 크기는 표 3-1과 같다.

표 3-1. 제안한 안테나의 상세 크기

[㎜]

W	L	W_t	L_t	W_1	L_1	L_2
60	70	52	55	3	28	7.5

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

안테나의 유전체 기판은 FR4_epoxy 기판으로 주로 산업용 목적의 단말기, 컴퓨터, 무선 기기 등의 각종 전자기기 장치에 사용되는 하드웨어의 PCB 기판이며, 상세 정보는 표 3-2와 같다.

표 3-2. FR4_epoxy 기판의 주요 파라미터

비유전율(ε_r)	4.7
손실탄젠트	0.019
기판 두께	1.6 ㎜
기판 종류	FR4_epoxy

설계한 테이퍼드 슬롯 안테나는 유전체 기판의 한쪽 면에는 안테나 역할을 하는 복사소자가 있고 반대쪽에는 임피던스 변환기를 가진 구조이다.

3.1.2 임피던스 변환기 설계

본 논문에서는 제한한 안테나에 광대역 임피던스 변환기를 사용하였다. $\lambda_g/4$ 협대역 임피던스 변환기와 달리, 광대역 임피던스 변환기는 선로를 따라 매끄럽고 지속적인 임피던스 변화를 갖으며, 최소 반사손실을 갖는다[23][24].

또한, 마이크로스트립 광대역 임피던스 변환기는 서로 다른 두 임피던스가 $\lambda_g/4$로 연결된 것으로 이들 임피던스의 기하학적 중심은 동일하다. 따라서, 광대역 변환기는 이들 선로의 작은 부분에서 설계되며, 광대역 지수 변환기 임피던스는 테이퍼드 길이에 따라 다음과 같은 지수함수식으로 변한다[23][25].

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

$$Z(x) = Z_1 \exp\left[\frac{x}{L} ln \frac{Z_2}{Z_1}\right] \tag{3-2}$$

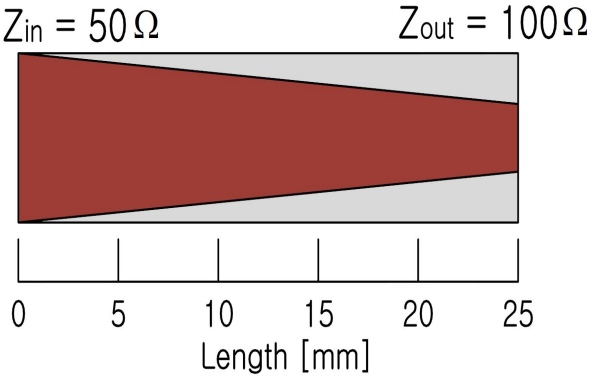


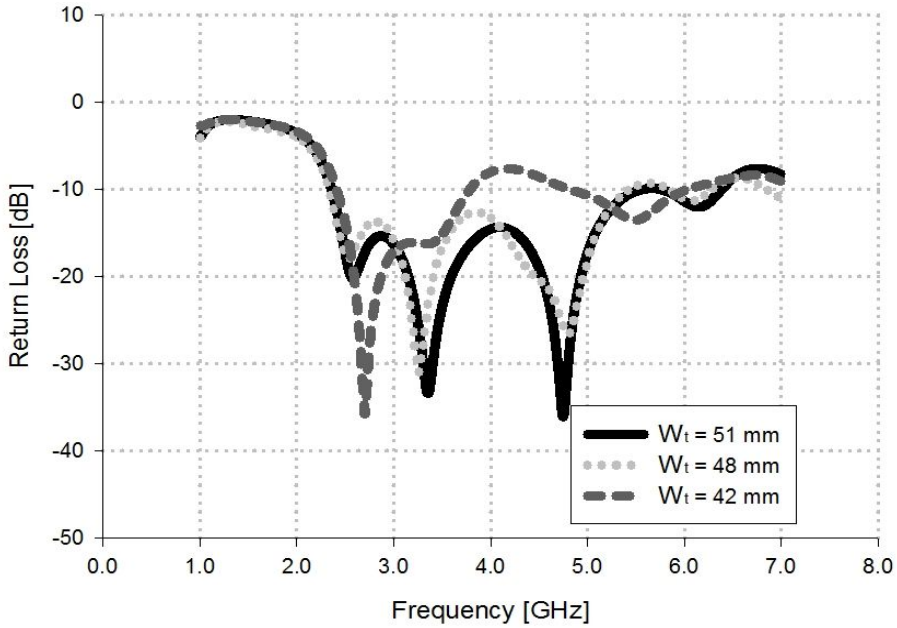
그림 3-2. 지수 변환기 구조

3.1.3 시뮬레이션 예측 결과

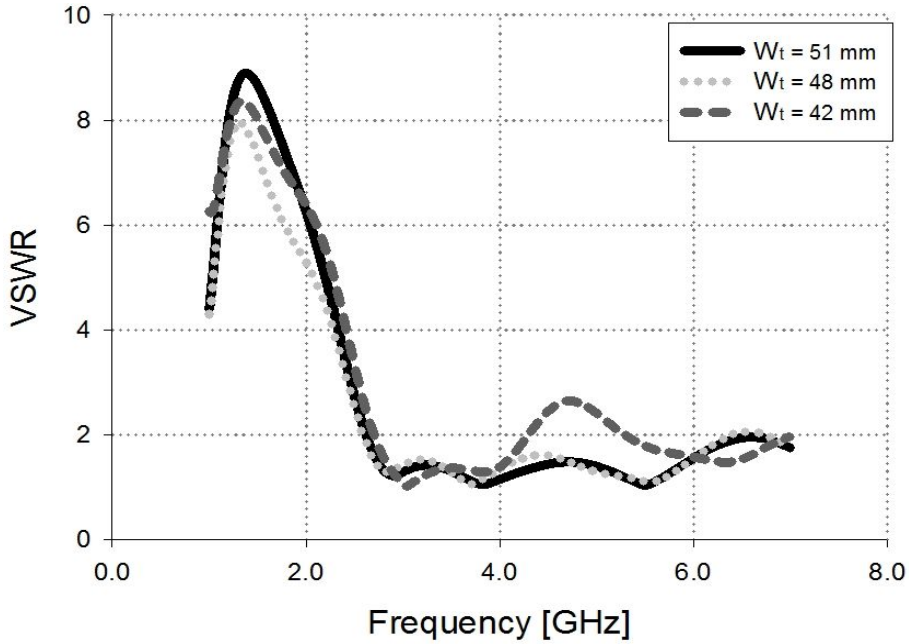
본 논문에서 제안한 테이퍼드 슬롯 안테나는 그림 3-1의 W_t와 L_t의 물리적 길이의 변화를 통해 반사손실(return loss. $-S_{11}$) 및 정재파비(VSWR : Voltage Standing Wave Ratio) 특성을 분석하였다. W_t의 물리적 길이 변화에 따른 반사손실 및 정재파비 시뮬레이션 결과는 그림 3-3과 같다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 반사손실



(b) 정재파비

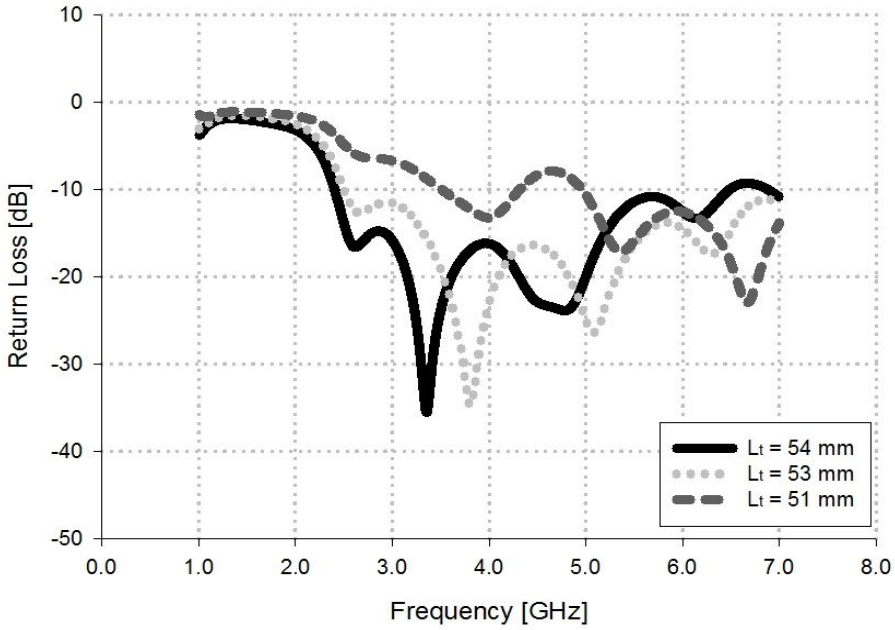
그림 3-3. W_t 변화에 따른 반사손실 및 정재파비 예측 값

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 3-3의 결과, W_t = 42 mm의 경우, 약 1.3 GHz(2.4 ~ 3.7 GHz) 대역폭을 보였고, W_t = 48 mm의 경우, 약 3.1 GHz(2.3 ~ 5.4 GHz)의 대역폭을 보였으며, W_t = 51 ㎜의 경우, 약 3.2 GHz(2.4 ~ 5.6 GHz) 의 대역폭을 보였다. 즉, -10 dB 반사손실 대역폭 및 VSWR≤2를 기준으로 하였을 때 W_t가 증가할수록 광대역 특성을 보였다.

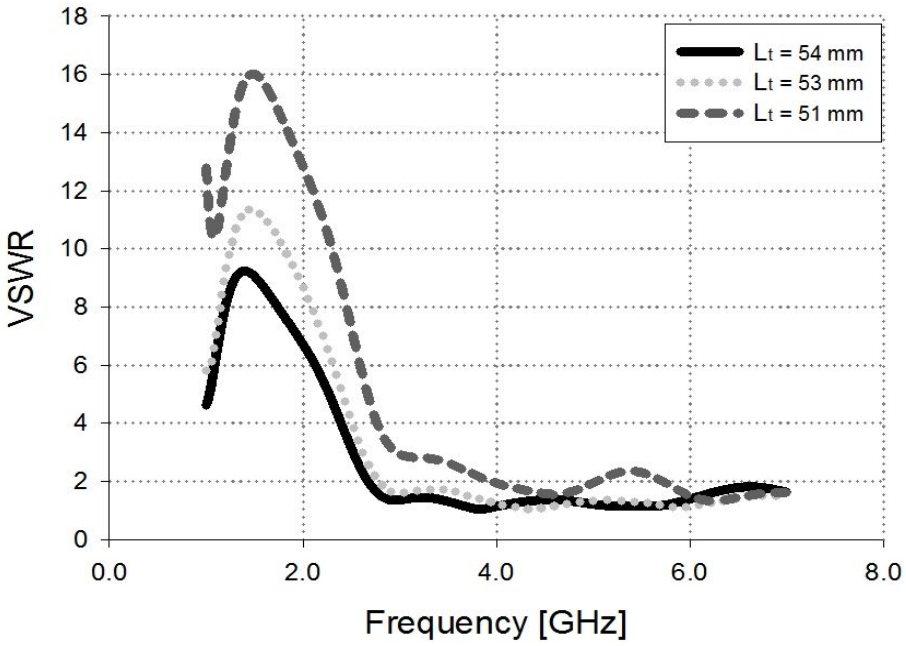
L_t의 물리적 길이 변화에 따른 반사손실 및 정재파비 시뮬레이션 결과는 그림 3-4와 같다.



(a) 반사손실

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(b) 정재파비

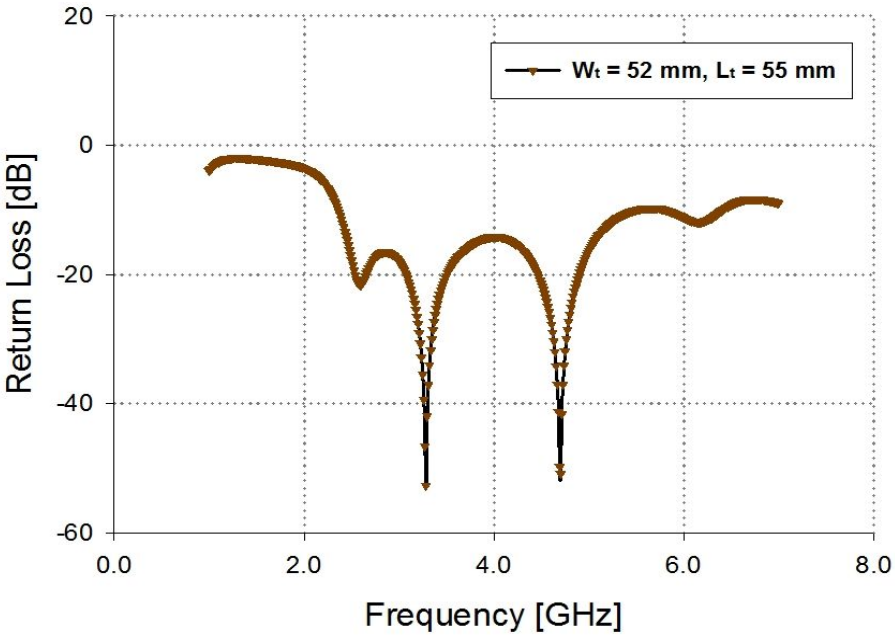
그림 3-4. L_t 변화에 따른 반사손실 및 정재파비 예측 값

그림 3-4의 결과, L_t = 51 ㎜의 경우, 약 0.6 GHz(4.3 ~ 4.9 GHz) 대역폭을 보였고, L_t = 53 ㎜의 경우, 약 3.7 GHz(2.4 ~ 6.1 GHz) 대역폭을 보였으며, L_t = 54 ㎜의 경우, 약 3.7 GHz(2.5 ~ 6.2 GHz) 대역폭을 보였다. 따라서 W_t 및 L_t 길이가 증가할수록 대역폭이 더욱 넓어지는 특성을 보였다.

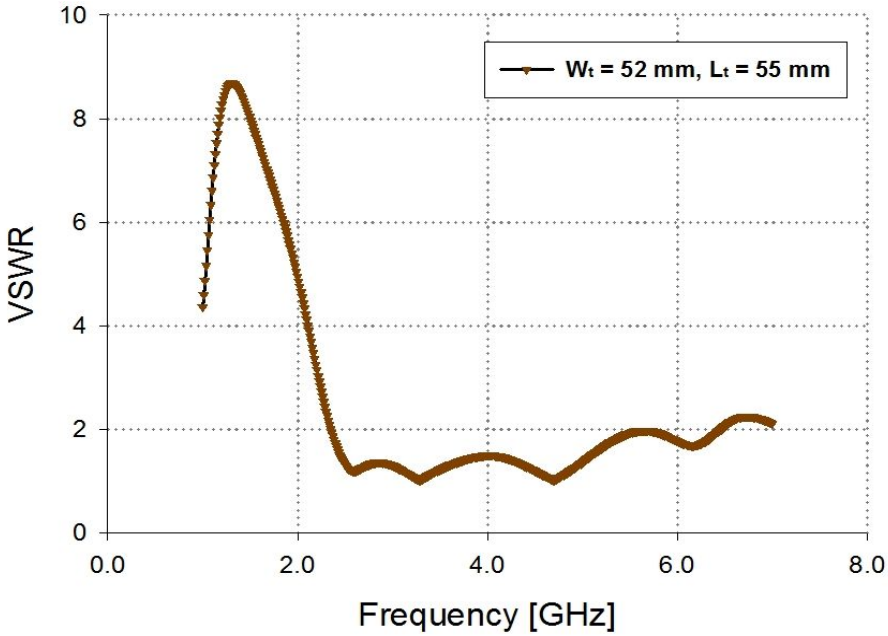
이러한 결과를 통해 도출된 W_t와 L_t는 각각 W_t = 52 ㎜, L_t = 55 ㎜이며, 최종 제안한 테이퍼드 슬롯 안테나의 반사손실 및 정재파비 시뮬레이션 결과는 그림 3-5와 같다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 반사손실



(b) 정재파비

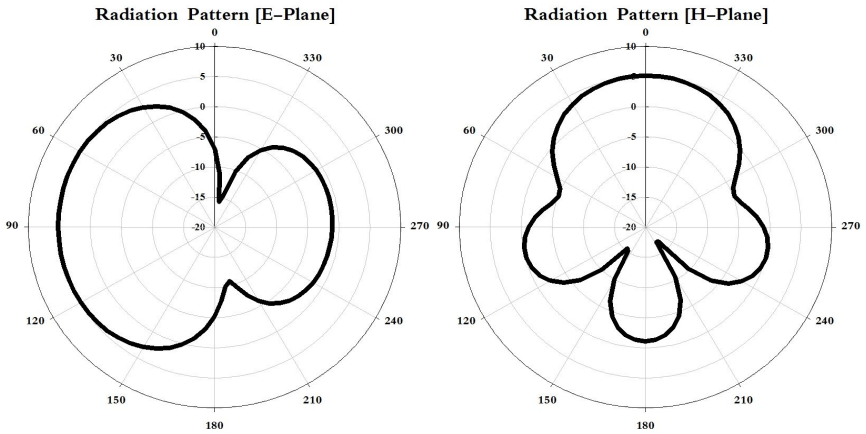
그림 3-5. 제안한 안테나의 반사손실 및 정재파비 예측 값

Collection @ chosun

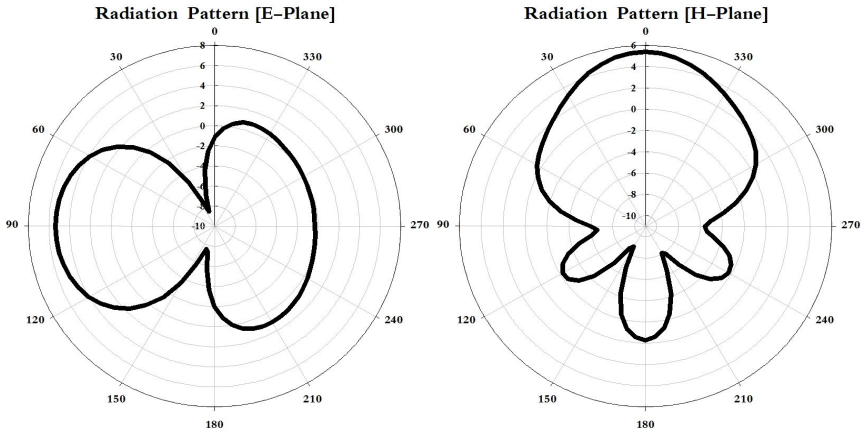
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 3-5의 결과, W_t = 52 ㎜, L_t = 55 ㎜일 때 약4.1 GHz(2.3 ~ 6.4 GHz) 대역폭을 보였다. 물리적 길이 변화에 따른 분석 결과와 최종 제안한 안테나 분석 결과 대역폭은 크게 차이가 없다. 특히, 공진 구간인 2.6 GHz와 3.3 GHz 대역의 반사손실 예측 값은 각각-52.88 dB, -56.33 dB 이며 정재파비 예측 결과는 각각 1.01, 1.00로서, 이는 안테나의 정합상태가 양호하여 부정합으로 인한 반사가 적음을 의미한다.

최종 제안한 테이퍼드 슬롯 안테나의 E-평면(XZ plane)과 H-평면(XY plane)의 -3 dB 빔 폭 및 방사패턴 시뮬레이션 결과는 그림 3-6과 같다.



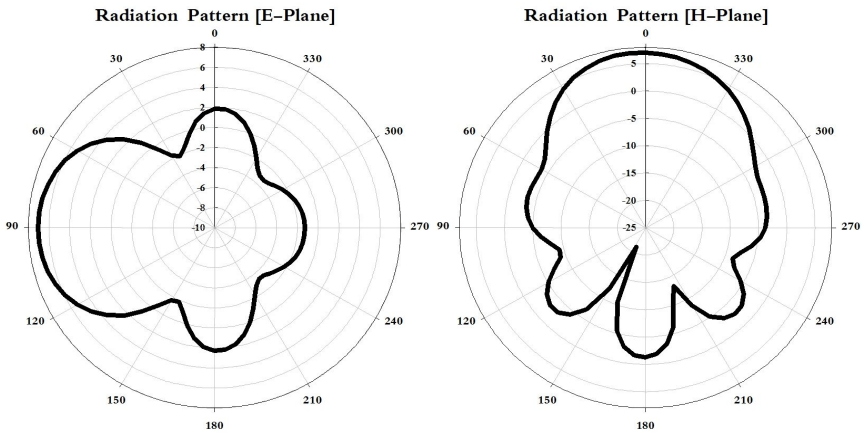
(a) 3 GHz



(b) 4 GHz

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(c) 5 GHz

그림 3-6 제안한 안테나의 방사패턴 예측 값

그림 3-6의 결과, E-평면과 H-평면에서의 3 dB 빔폭은 3 GHz에서 130°, 77°이며, 4 GHz에서 각각 85°, 77°, 5 GHz에서는 각각 78°, 65°이다. 제안한 안테나의 -3 dB 빔폭은 특정한 방향에서 전파에 대한 감도가 높아지는 지향성의 end-fire 동작 특성을 보였다. 최종 제안한 테이퍼드 슬롯 안테나의 이득 시뮬레이션 결과는 그림 3-7, 표 3-3과 같다.

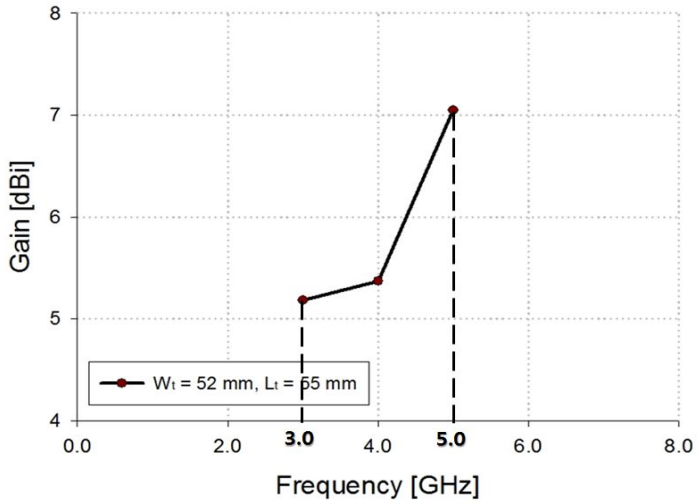


그림 3-7. 제안한 안테나의 이득 예측 값

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 3-3. 제안한 안테나의 이득 예측 값

[dBi]

주파수	3 GHz	4 GHz	5 GHz
예측 값	5.18	5.37	7.05

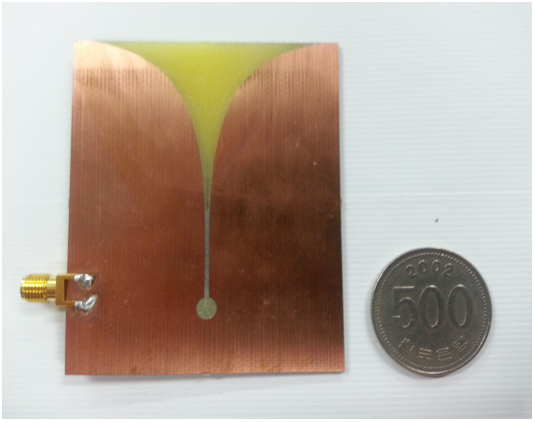
그림 3-8, 표 3-3의 결과, 제안한 안테나의 이득 예측 값은 3 GHz에서 5.18 dBi, 4 GHz에서 5.37 dBi, 5 GHz에서 7.05 dBi로 주파수가 증가할수록 높은 이득을 보였으며, 5 GHz에서 특정 방향으로 위치인식을 하는데 적합함을 알 수 있다.

Collection @ chosun

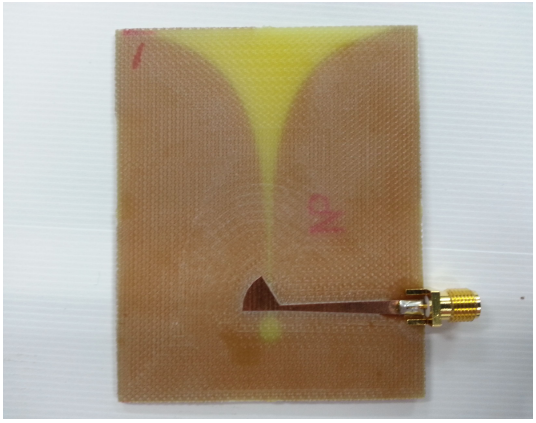
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.2 제작 및 측정

PADs 프로그램을 이용하여 PCB Artwok 방식으로 FR4._epoxy 기판에 실제 제작한 안테나는 그림 4-1과 같다.



(a) 전면



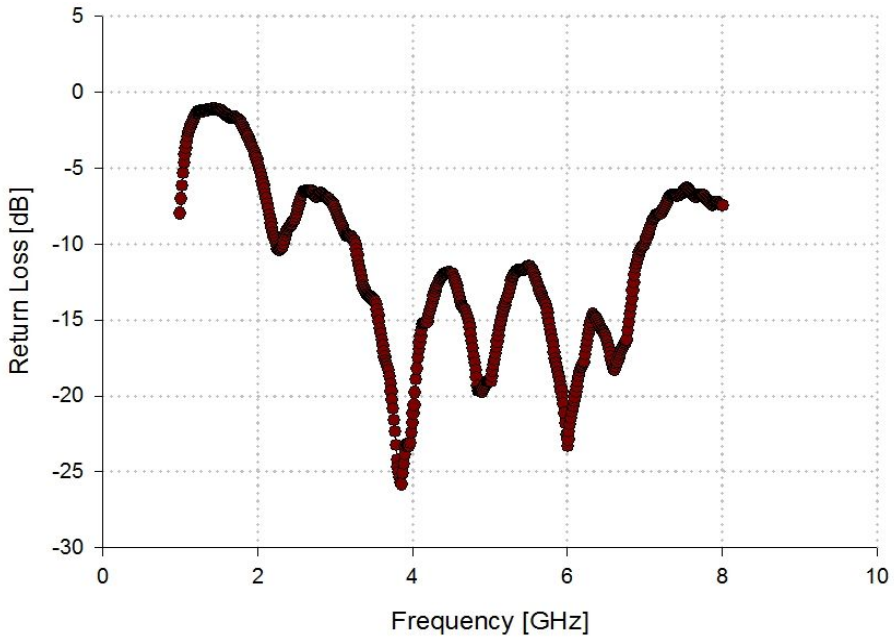
(b) 후면

그림 4-1. 실제 제작한 테이퍼드 슬롯 안테나

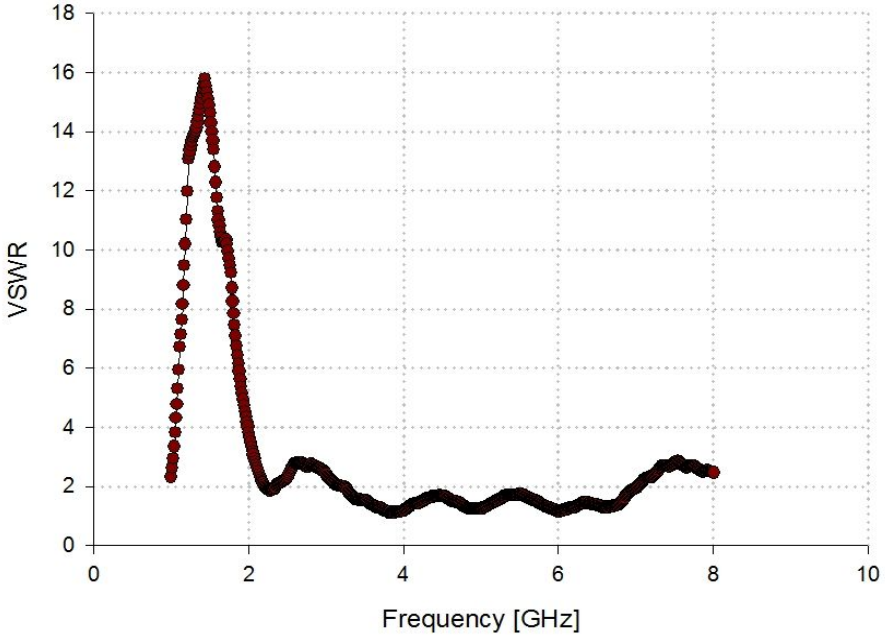
제작한 안테나는 Agilent사의 네트워크 분석기(N5230A)를 이용하여 반사손실 및 정재파비를 측정하였으며 측정결과 그림 4-2와 같다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 반사손실



(b) 정재파비 결과

그림 4-2. 제안한 안테나의 실측 결과

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 4-2의 결과, 제작한 테이퍼드 슬롯 UWB 안테나의 VSWR≤2를 만족하는 -10 dB 대역폭은 대역에서 약 3.73 GHz(3.26 ~ 6.99 GHz) 를 나타내었으며 예측 값 약 4.1 GHz 보다 작게 나타내었다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 4 장 결 론

본 논문에서는 실내 위치 인식을 위한 소형화된 IR-UWB 안테나를 제안하였으며 UWB 안테나는 테이퍼드 슬롯 안테나에서 슬롯 폭의 물리적 길이의 변화를 통해 FCC에서 정한 동작 주파수 25% 이상의 대역폭을 유도하였다.

사물의 위치 인식에 적합한 지향성 방사를 갖는 end-fire 동작 특성을 유도하였으며 기존의 UWB 안테나의 소형화를 통한 응용 분야를 확대하고자 제안하였다.

제안한 안테나의 테이퍼드 슬롯의 W_t와 L_t의 물리적 길이 변화를 통해 광대역 특성을 유도하였다. 주로 예측 결과 및 측정 결과는 다음과 같다.

- VSWR≤2를 만족하는 -10dB 대역폭 예측 값과 실측 값은 각각 약 4.1 GHz(2.3~6.4GHz), 약 3.93 GHz(3.26~6.99GHZ)이다.

- 방사패턴 분석 예측 값은 E-평면(XZ plane)과 H-평면(XY plane)에서 3 dB 빔 폭은 3 GHz 대역에서 각각 130°, 77°이며, 4 GHz 대역에서 각각 85°, 77°, 5 GHz 대역에서 각각 78°, 65°이다.

- 안테나 이득 예측 값은 3 GHz 대역에서 5.18 dBi, 4 GHz 대역에서 5.37 dBi, 5 GHz 대역에서 7.05 dBi로 주파수가 증가할수록 높은 이득을 보였다.

이상의 결과, 특정한 방향에서의 감도가 높아지는 지향성의 end-fire 특성을 보였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

참 고 문 헌

[1] Deng. X., Wang. Q., Victor. G., "Structural Health Monitoring Using Active Sensors and Wavelet Transform," Proceeding of SPIE 1999, Smart Structures and Integrated systems, Newport Beach, vol. 3668, pp. 363-370, 1999.

[2] J. D. McKinney, D. Peroulis, A. M. Weiner, "Time-domain measurement of the frequency-dependent delay of broad band antennas," IEEE Trans. Antenna & propagation, vol. 56, no.1, pp. 39-47, Jan., 2008.

[3] 김종민, "최적 임펄스 신호방사를 위한 IR-UWB용 안테나 시간영역 설계," 광운대학교 박사학위논문, 2012, 12.

[4] J. I. Immoreev, "Ultra-wideband systems. Features and ways of development," Ultra Wideband and Ultra Short Impulse Signals, Sevastopol, Ukraine, pp. 19-22, Sep., 2004.

[5] 이형수, 신철호, "UWB 기술 정의 및 특성," 한국전자파학회, vol. 13, no. 3, pp. 3-8, 2002. 7.

[6] Albert Lai, Walter D. Burnside and Albert Sinopoli, "A Novel Ultra-Wide Band Antenna," Dig. of Int. Sym. Antennas Propaga. Soc., pp. 703-706, 1991.

[7] 고지환, 신인호, 이영순, 조영기, "UWB 통신용 광대역 소형 안테나 설계," 한국전자파학회 논문지, vol 6, no. 11, pp. 1086-1098, 2005.

[8] Federal Communications Commission, "FCC Part15-radio frequency devices, code federal regulation 47 CFR Ch.1 (10-1-09 Edition)," Section 15.521, Washington, D.C, 2009.

[9] 윤두형, 전수연, "UWB 기술개요 및 주파수 정책동향," 정보통신정책, 13, no. 13, pp. 3-4, 2006. 7.

[10] Kin-Lu Wong, Liang-Che Chou, and Fa-Shian Chang, "Printed Short-Circuited Wide Band Monopole Antenna with Band-Noched

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

Operation," MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOG LETTERS, vol. 46, no. 1, pp. 58-61, July. 2005.

[11] J. Liu, S. Gong, Y. Xu, X. Zhang, C. Feng and N. Qi, "Compact Printed Ultra-Wideband Monopole Antenna with Dual Band-Notched Characteristics," ELECTRONICS LETTERS 5th, vol. 44 no. 12, Jun. 2008.

[12] 이형수, 신철호, "UWB 기술 정의 및 특성," 한국전자파학회, vol. 13, no. 3, pp. 3-8, 2002. 7.

[13] 이주형, "고성능 UWB 안테나 설계에 관한 연구," 광운대학교 석사학위논문, 2010.

[14] J. D. Kraus, Antennas, Second ed. New York : Mc Graw-Hill, 1998.

[15] Saou-Wen Su, Kin-Lu Wong, and Fa-Shian Chang, "Compact Printed Ultra-Wideband Slot Antenna with a Band-Notched Operation," MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, vol. 45, no. 2, pp. 128-130, April., 2005.

[16] Ramesh Garg, Prakash Bhartia, Inder bahl, and Apisak Ittipiboon, "Microstrip Antenna Design Handbook," AH, pp. 358-379, 2001.

[17] Kai Chang, "Microwave Ring Circuits and Antennas," Wiley, pp. 252-255, 1996.

[18] Weng Cho Chew, "A Broad-Band Annular-Ring Microstrip Antenna", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. AP-30, no. 5, pp. 918-922, 1982.

[19] 전수진, "910 ㎒ 대역 렉테나 설계 및 효율 분석," 대구대학교 석사학위논문, 2010. 12.

[20] J. A. Navarro and K. Chang, "Integrated Active Antennas and spatial Power Combining," John Wiley & Sons, New York, 1996.

[21] 카이 창, "RF 및 초고주파 공학: RF and Microwave Wireless System,"

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

한빛미디어, pp. 93-97, 2009.

[22] P. J. Gibson, "The vivaldi aerial," Proceedings of the 9th European Microwave Conference, pp. 101-105, 1979.

[23] K. Y. Kim, "Design of UWB Beam Scanning Antenna Systems Based on Time Domain Analysis," Kwangwoong Univ., Dec., 2013.

[24] Kai Chang, "RF and Microwave Wireless System," Wiley, pp. 74-75, 2000.

[25] Y. M. Kog, K. H. Ra, "Design of UWB Tapered Slot Antenna for the Optimum Impulse Radio Transmitting & Receiving," vol. 21, no. 6, pp. 553-563, Jun., 2010.

[26] Sika Shrestha, Sun-Kuk Noh, and Dong-You. Choi, "Comparative Study of Antenna Design for RF Energy Harvesting," International Journal of Antennas and Propagation, vol. 2013, pp. 1-10, 2013.

[27] D. Y. Choi, Sika Shrestha, J. J. Park, and S. N. Noh, “Design and Performance of an Efficient Rectenna Incorporating a Fractal Structure,” International Journal of Communication System, vol. 2014, no. 27, pp. 1-19, Jul., 2014.

Collection @ chosun