

# Spectrum Analyzer 측정 오류 문제 해결 & 안테나 분석

김희서

## 요 약

본고에서는 Spectrum Analyzer 측정 오류 문제 원인을 찾고 해결하고, 연구실 내 존재하는 안테나의 스펙을 파악하여, 향후 측정 업무의 기반을 마련한다.

## I. 서 론

본고에서는 Spectrum Analyzer 로 Insertion Loss 측정 시 생긴 오류의 원인을 알아본 결과, “Res BW (Resolution Bandwidth)” 의 원인이라고 판단하였다. 그 이유는 본론에서 측정 결과를 통해 설명하겠다.

그리고 “클레버로직” 장비를 활용하여, 석사 학위 논문 작성을 위한 실험 및 연구를 위한 연구실 내 존재하는 안테나의 스펙을 알아본다.

## II. 본 론

### 2.1 Antenna

“클레버로직” 을 활용하여 연구를 하기 위해 안테나의 종류 및 성능을 파악하고 있다. 이를 위해 안테나 스펙을 나타내는 지표 중 중요한 내용을 정리한다.

#### 2.1.1 HPBW (Half Power Beam Width)

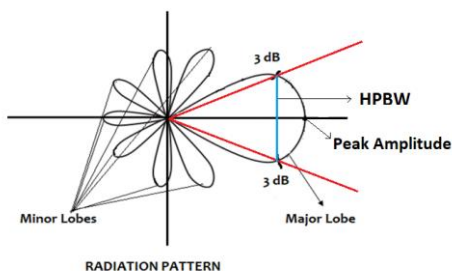


Figure 1 HPBW

HPBW (Half Power Beam Width)는 안테나 또는 방향성 패턴의 중심에서 전력이 절반으로 감소하는 각도를 나타내며, 안테나의 방향성을 특성화하고, 안테나의 주파수 대역에서 전파를 전송하거나 수신하는 데 얼마나 넓은 범위를 가지는 지를 나타낸다.

일반적으로 안테나의 방향성 패턴은 중심부에서 출발하여 특정 각도에서 최대 전력을 발산하며, 그 각도에서 멀어질수록 전력이 감소하고, HPBW 는 이런 패턴에서 전력이 절반으로 감소하는 각도를 측정한다.

## <summary>

**HPBW**: 방사패턴에서 전력이 절반이 되는 안테나 또는 방사 패턴의 수평 또는 수직 평면에서 측정되는 각도 범위

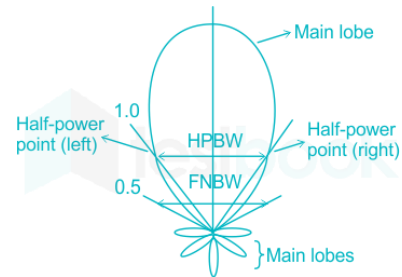


Figure 2 HPBW

“OSI-06A” 안테나의 스펙에서 “HPBW: 90 Deg @Vertical” 으로 설명되는 데, 안테나가 수직 방향으로 90 도의 방향성을 가지며, 안테나 패턴이 수직 평면에서 전력이 절반으로 감소하는 각도 범위가 90 도라는 것을 나타낸다. 이는 안테나의 주요 방향성이 수직 평면에서 상당히 넓은 범위를 커버할 수 있다는 것을 의미한다.

정리하면, HPBW 값이 클수록, 안테나의 방향성이 낮아지며, 전파를 더 넓은 범위로 방출된다.

#### 2.1.2 Radiation pattern

“Radiation pattern” 는 안테나의 전파 방출 패턴을 나타내는 것으로, 안테나의 방향성과 관련이 있다. 안테나의 방향성에 따라 Radiation Pattern 은 주로 2 가지 유형으로 나뉜다.

##### 2.1.2.1 Directional Antenna

지향성 안테나 (Directional Antenna)는 전파를 특정 방향 또는 각도로 집중시키는 안테나로, 특정 방향 또는 각도에서 강한 신호를 나타내며, 그 외의 방향에서는 신호가 약해집니다. 따라서 지향성 안테나의 “Radiation Pattern” 은 좁은 빔 형태로 나타납니다. 예를 들어, “파라볼릭 안테나: 포물면의 축에 평행으로 입사된 전파는 모두 포물면에서 반사되어 초점에 모이는 현상을 이용한 안테나”, “Yagi-Uda 안테나: 전자기파를 특정 방향으로 집중시키는 지향성 안테나로, 주로 TV 안테나, 무선 통신, 아마추어 무선 통신 등 다양한 응용 분야에서 활용된다.” 등이 있다.

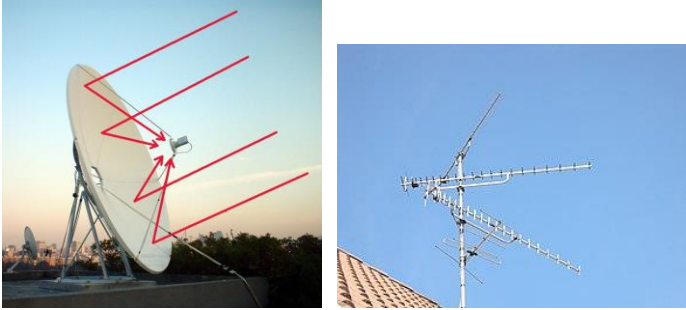


Figure 3 파라볼릭 안테나, Yagi-Uda 안테나

즉, 지향성 안테나를 사용하여 특정 방향으로 RF 에너지를 더 먼 거리로 전환할 수 있어, 긴 범위를 적용할 수 있지만 효과적인 빔 너비는 줄어듭니다. 이 유형의 안테나는 복도, 긴 복도, 사이에 공백이 있는 섬 구조 등을 포함하는 LOS 커버리지 근처에서 유용하다. 그러나 각 커버리지가 작으므로 큰 영역은 커버할 수 없다.

#### 2.1.2.2 Omni-Directional Antenna

무지향성 안테나 (**Omni-Directional** Antenna)는 전파를 모든 방향으로 **고르게** 방출하는 안테나로, “Radiation Pattern”은 모든 방향에서 비교적 균일한 신호를 나타내며, 주로 원형 또는 횡단 형태로 나타납니다.

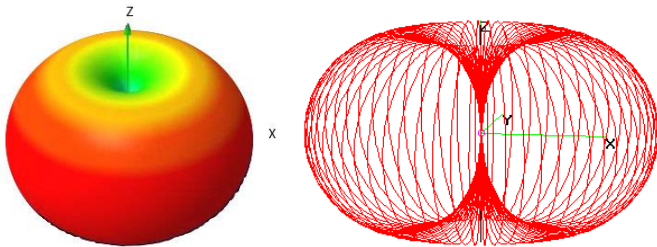


Figure 4 Donut-like radiation pattern of an omni-directional antenna

따라서, 주로 주변 환경에 균일한 커버리지가 필요한 경우에 사용되며, 대표적인 예로 “**옴니 안테나**: 전파를 **모든 방향**으로 고르게 방출하는 무지향성 안테나로, 360 도로 전파를 발산하며 수평 평면에서 원형 또는 횡단 형태의 Radiation Pattern 을 가진다.”, “**다이폴 안테나**: 무선 통신에서 많이 사용되는 안테나로, 무지향성 안테나의 기본 형태이고, 전파를 **양방향**으로 방출하는 형태로 구성되어 있다.” 등이 있다.

#### <summary>

- 다이폴 안테나: 전파를 수직 방향으로 전파를 방출하며, 방사 패턴은 수평 평면에서 동일한 형태를 가지는 양방향 방출 안테나
- 옴니 안테나: 전파를 모든 방향으로 고르게 방출하는 안테나로, 횡단 형태의 Radiation Patter 을 가지며, 360 도로 전파를 발산한다.



Figure 5 PM-DI02A 2.4 GHz, 다이폴 무지향 안테나

#### 2.1.3 Omni

앞서 무지향성 안테나를 “Omni-Directional Antenna” 라고 했는데, 이때 “**Omni**”는 라틴어 “Omnis”에서 파생된 용어로, “모든” 또는 “전체”를 의미한다. 따라서 “Omni: 옴니”는 “**모든 방향**” 또는 “전체적인” 의미로 사용되기에, 안테나 용어에서는 무지향성이나 모든 방향으로 동등하게 향하는 것을 의미한다.

#### 2.1.4 Monopole Antenna

모노폴 안테나 (**Monopole** Antenna)는 무선 통신에서 일반적으로 사용되는 안테나로, 다이폴 안테나의 변형으로, 다이폴 안테나의 1 개 도선은 유지하고 나머지 1 개 도선은 접지판 (지면/수면, 금속/도선 접지면, 장치 케이스, 인쇄회로 기판 접지면 등)으로 대체한다.

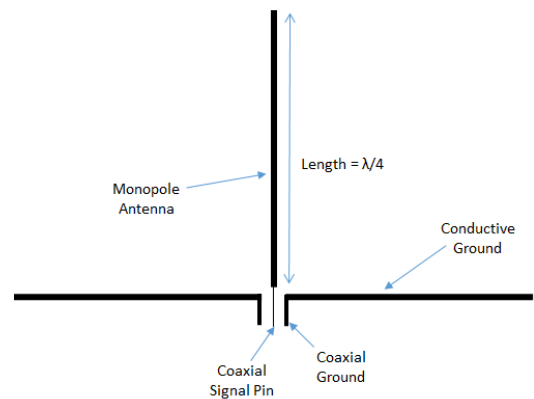


Figure 6 Monopole

일반적으로 **막대 모양**으로 설계되며, 길이가 반파장의 1/4 또는 1/2 로 되어 있는 경우가 흔하며, 무선 통신 시스템에서 주로 **수직방향**으로 사용되기에, 일반적으로 지향성 안테나이다. 따라서 수직방향으로 전파를 방출하도록 설계되어 있어, 주로 안테나의 바닥 부분이 지면이나 대체 접지 평면과 연결되어 사용된다.

대표적인 사용은 다양한 주파수 대역에서 작동할 수 있기에, 휴대폰, Wi-Fi 장치, 블루투스 등 응용분야에서 널리 사용된다.

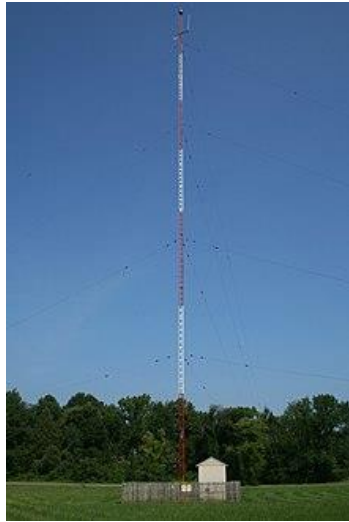


Figure 7 A typical mast radiator monopole antenna of an AM radio station in Chapel Hill, North Carolina

모노폴 안테나는 다이폴 안테나보다 크기가 작고 단순한 설계를 가지며, 특히 휴대폰과 같은 소형 장치에 적합하지만, 지면 또는 접지 평면과의 접지가 필요하다는 단점이 있다.

## 2.2 Spectrum Analyzer 측정 오류 문제

Spectrum study 를 통해 Insertion loss 값을 측정했을 때, 오류가 있었다. 이 오류의 원인이 Center Frequency, Res BW, VBW 등 어떤 요인에 의해서 진행 된 것인지 파악하기 위해서, 머신러닝이나 딥러닝 모델의 특징 구성 요소 또는 기능을 시스템에서 제거하여 해당 구성 요소 또는 기능의 영향을 평가하는 실험적인 분석 방법인 ‘Ablation Study’처럼 “Res BW, VBW, Center Frequency”라는 3 가지 파라미터를 각각 바꿔가면서, 어떤 것이 성능에 영향을 주는 지 파악했다.

### 2.1.1 Res BW & VBW

VBW \ Res BW	1 MHz	3MHz
1MHz	1) -10.66 dBm	3) -10.67 dBm
3MHz	2) -8.288 dBm	4) -8.284 dBm

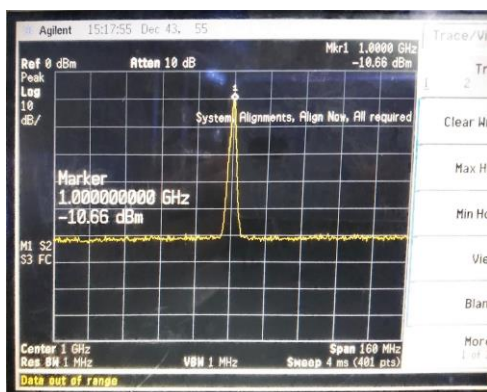


Figure 8 (1) Res BW, VBW: 1MHz = -10.66 dBm

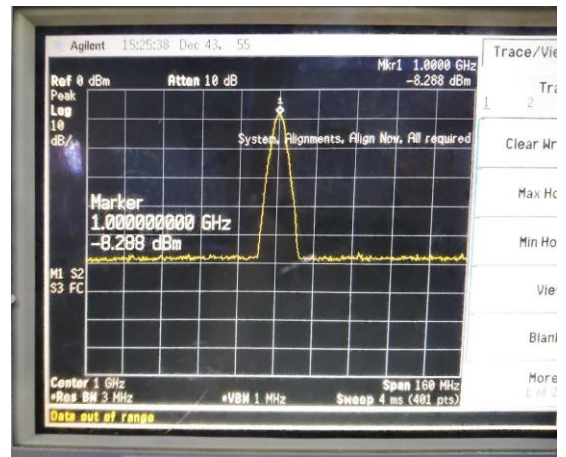


Figure 9 (2) Res BW: 3MHz, VBW: 1MHz = -8.288 dBm

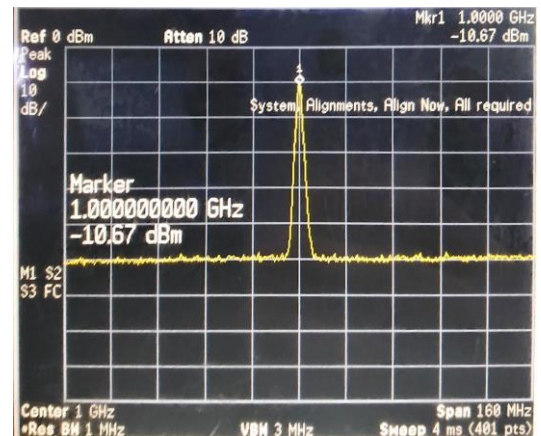


Figure 10 (3) Res BW: 1MHz, VBW: 3MHz = -10.67 dBm

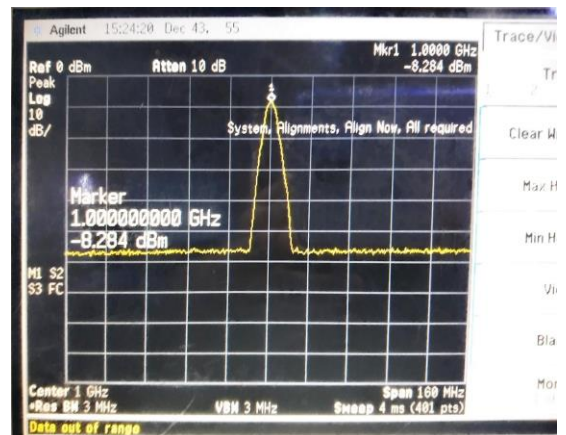


Figure 11 (4) Res BW, VBW: 3MHz = -8.284 dBm

### 2.1.2 Center Frequency

Center Frequency	500 MHz	1GHz	1.5GHz	2GHz	2.4465GHz
Res BW, VBW					
Res BW 1MHz	(1) -10.48 dBm	(L) -10.65 dBm	-10.58 dBm	-10.92 dBm	-10.99 dBm
VBW : 1MHz					
Res BW 3MHz	-8.133 dBm	-8.32 dBm	(C) -8.223 dBm	-8.574 dBm	(E) -8.646 dBm
VBW : 3MHz					



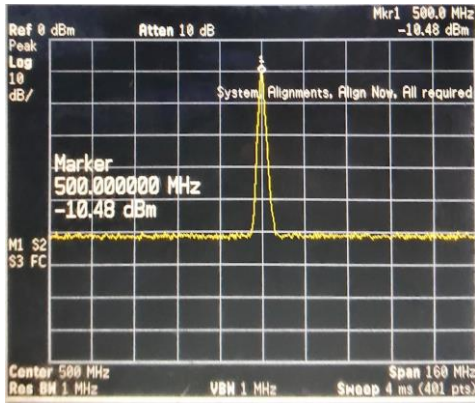


Figure 12 (ㄱ) Res BW, VBW: 1MHz, Center Frequency: 500MHz

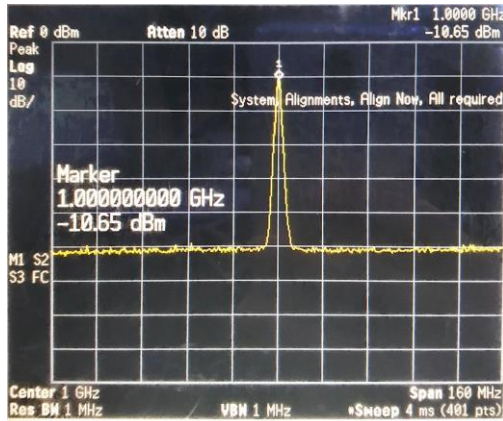


Figure 13 (ㄴ) Res BW, VBW: 1MHz, Center Frequency: 1GHz

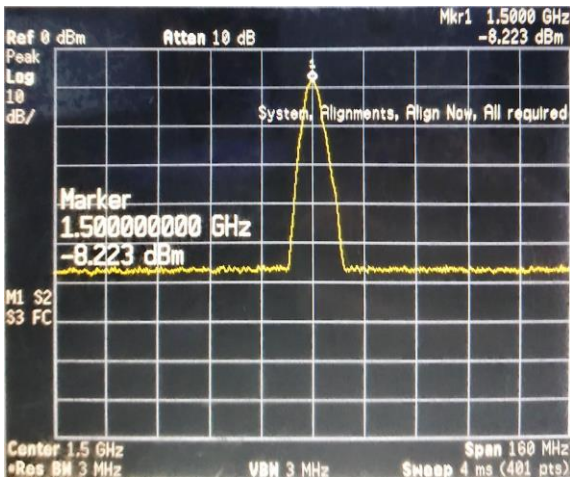


Figure 14 (ㄷ) Res BW, VBW: 3MHz, Center Frequency: 1.5 GHz

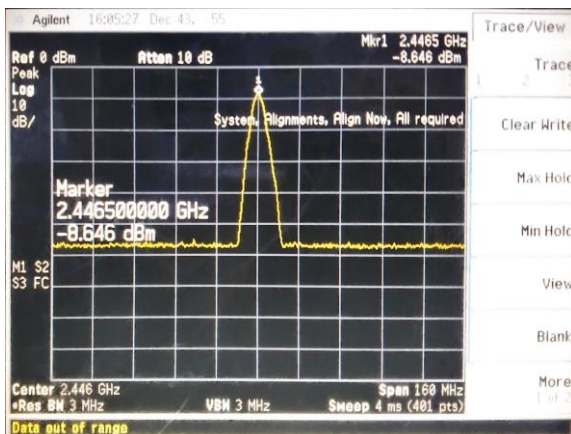


Figure 15 (ㄹ) Res BW, VBW: 1MHz, Center Frequency: 2.4465 GHz

해당 결과를 통해 Res BW의 초기 설정 오류로 Insertion Loss 측정 시 오류가 있음을 확인했다.

정리하면, “Spectrum Analyzer”는 주파수 영역에서 신호의 주파수 스펙트럼을 분석하는 데 사용되는 장비이고, “Insertion Loss”는 주파수 영역에서 신호가 특정 장치나 시스템을 통과할 때 발생하는 손실을 측정하는 데 사용된다.

### 1. Res BW (Resolution Bandwidth)

“Res BW”는 Spectrum Analyzer가 주파수 스펙트럼을 분석하는 데 사용하는 주파수 대역폭으로, 주파수 영역을 세분화하는 데 사용된다. 따라서, **작은 “Res BW”는 더 세부적인** 주파수 성분을 분석할 수 있다.

### 2. VBW (Video Bandwidth)

“VBW”는 Spectrum Analyzer가 주파수 스펙트럼을 표시하는 데 사용하는 대역폭을 의미하며, 주파수 스펙트럼의 평균화를 위해 사용된다. 작은 VBW는 스펙트럼의 세부사항을 더 잘 볼 수 있게 하지만, 측정 시간이 더 오래 걸릴 수 있다.

즉, “Res BW”가 3 MHz 일 때와 1 MHz 일 때의 값이 차이는 이유는 “Res BW”가 더 작을수록 주파수 영역을 더 세부적으로 분석하기 때문이다. 그러나 일반적으로 세부 정보를 분석하는 경우에는 작은 “Res BW”를 사용하고, 스펙트럼을 시각적으로 분석하는 경우에는 작은 “VBW”를 사용하는 것이 좋다.

### <Summary>

Res BW: 주파수 성분의 “세부 정보” 분석에 영향.  
VBW: 주파수 스펙트럼의 “시각적” 표시에 영향.

### 2.3 안테나

연구실에는 4 개의 안테나가 있다.

- W1696/W1697, W1696-M
- VERT 2450                      - OSI-06A, OSI-05A
- Omni Antenna, 340 - 470 MHz, 2 dBi, Heavy Duty Spring Base

#### 2.3.1 W1696/W1697, W1696-M

해당 제품은 “클레버로직” 장비에 장착되어 있는 안테나로, 16x16, 4x4 송수신기에 장착되어 있기에 연구실 내에 많이 존재한다.

### <summary>: W1696/W1697, W1696-M

주파수 범위: 617 ~ 960 MHz, 1710 ~ 2690 MHz, 3400 ~ 3800 MHz

Return Loss: <-5 dB, <-5 dB, <-4 dB

Antenna Type: Monopole

Radiation Pattern: Omni

Electrical Specifications @ 25°C - Operating Temperature -30°C to +85°C					
Frequency Bands: 617-960/1710-2690/3400-3800 MHz					
Antenna <sup>1</sup> Type	Nominal Impedance	Return Loss	Radiation Pattern	Polarization	Power Withstanding
Monopole	50Ω	per below	Omni	Linear	5W
Frequency		617-960 MHz	1710-2690 MHz	3400-3800 MHz	
Return Loss		<5 dB	<5 dB	<4 dB	
Peak Gain		>0.5 dBi	>1 dBi	>0 dBi	
Efficiency		40%	45%	30%	

Mechanical Specifications						
Orderable PN: W1696, W1696-M, W1697, W1696-MW						
Part Number	Size (Length * Dia)	Color	Wind-loading	Weight	Connector Type	Ingress Protection
W1696	49.6 * 10	Black	100 km/h	7.5grms	SMA Male	IP42
W1697	49.6 * 10	Black	100 km/h	7.5grms	RP - SMA Male	IP42
W1696-M	50 * 12	Black	100 km/h	7.8grms	SMA Male	IP65
W1696-MW	50 * 12	Black	100 km/h	7.8grms	SMA Male	IP68 (24H 1MWater)

Notes:  
<sup>1</sup> Storage Temperature: -30°C to 85°C  
<sup>2</sup> Measured on 120 x 40mm ground plane

Figure 16 W1696/W1697/W1696-M Specification

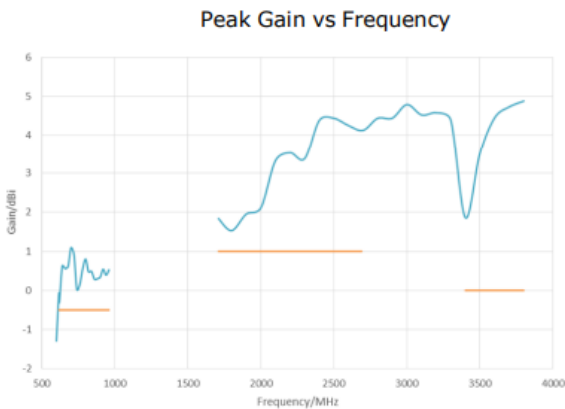


Figure 17 Peak Gain vs Frequency

Fig 17 을 통해 알 수 있는 것은, 특정 안테나의 주파수 대역에서의 **최대 이득** (Peak gain)을 주파수에 따라 변화를 보여주는 것으로, 그래프에서 볼 수 있는 것처럼 그래프 상에서 이득이 주파수에 따라 크게 변화한다면, 해당 주파수 대역에서 안테나의 성능이 민감하게 변화할 수 있음을 의미한다.

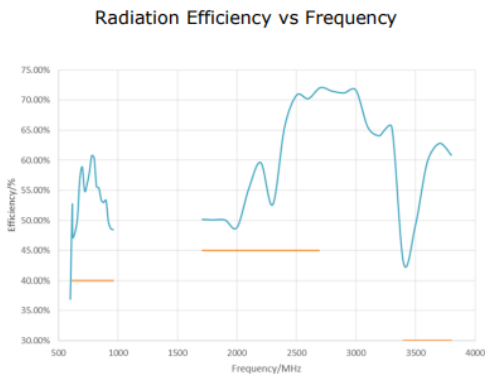


Figure 18 Radiation Efficiency vs Frequency

Fig 18 을 보면, **“Radiation Efficiency”** 는 안테나에서 전력 **입력**에 대한 **출력**으로 방사되는 **전력의 비율**을 나타내며, 효과적으로 방사하는 정도를 측정하는 지표이다. 즉, 주파수에 따라 Radiation Efficiency 가 어떻게 변하는지 살펴보면, 특정 주파수 범위에서 안테나가 더 효율적으로 작동하는 지 여부를 알 수 있고, 이를 기반으로 설계자는 특정 주파수 범위에서 최적의 성능을 가진 안테나를 개발할 수 있다.

### 2.3.2 VERT 2450



Figure 19 VERT 2450

해당 안테나는 “모상현” 씨의 석사 학위 논문인 “다중 입출력 채널 사운딩을 위한 주파수상에서 보정된 채널 추정 기법과 이를 이용한 실내 광대역 채널 측정 및 분석” 등의 채널 사운딩 실험에서 사용한 안테나이다.

Length	198 mm	<b>주파수 범위</b>	<b>2400~2500MHz,</b>
Polarization	Vertical		<b>4900~5350MHz,</b>
VSWR	< 2:1	Gain	3 dBi
Horizontal Beam @10dB	360°	impedance	50 Ohm
Connector	SMA-Male	최대 전력	50 W

해당 안테나는 “Ettus” 에서 판매하고 있기에, 2003 년 7 월 기준 구입할 수 있다. [2]

#### <summary>: VERT 2450

주파수 범위: 2.4 ~ 2.5, 4.9 ~5.35, 5.725 ~ 5.85 GHz, 무지향성 안테나

Gain: 3 dBi

### 2.3.3 OSI-06A, OSI-05A [3]

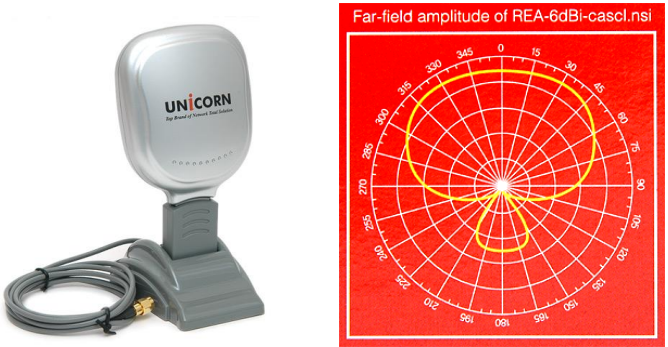


Figure 20 OSI-06A

안테나들은 “2008 년 3 월 21 일에 강영운 박사가  
진행한 EECE695j Term Project 를 위한 4x4 MIMO Test  
Bed 소개” 에서 사용한 안테나들이다. [4]

해당 안테나는 “유니콘 2.4GHz 6dBi Golf Antenna  
OSI-06A” 이고, 무선랜 환경에서 보다 정확하고 신뢰성  
높은 데이터 전송을 위한 2.4 GHz Directional 6 dBi 의  
지향성 골프 안테나이고, 무선랜 환경의 무선 라우터,  
AP 에 연결하여 AP 와 각 노드 간의 안정적인 데이터  
송수신을 도와줄 수 있는 제품이다. 특히, RP SMA 로  
되어 있어 액세스 포인트, 무선 라우터에 장착하여  
사용 가능하며, 한쪽만 사용시 통신거리 20% 향상,  
양쪽 사용 시 50% 향상하고, 무선 송수신 대역 300 ~  
350M 까지 확장 가능하여, 밀면에 자석 부착으로 설치  
용이 및 안테나 이동이 가능하다.

+ ) **Golf Antenna**: 일반적으로 안테나의 형태를  
묘사하는 비공식적인 용어로, 안테나가 골프 클럽의  
형태를 닮았다는 비유적인 표현으로, 안테나의 형태를  
기술할 때 종종 일상적인 비유를 사용하는데, 골프  
안테나는 그 형태가 안테나의 주파수 변환 부분이 골프  
클럽의 머리와 유사하다고 생각하여, “Golf  
Antenna” 라는 용어가 사용된다.

#### <summary>: Golf Antenna

- 안테나 디자인을 비유한 비공식적인 용어로, 골프  
클럽의 머리와 유사하여 사용

Impedance	50 Ω	VSWR	1.92 Max
Return Loss	-10dB Max	<b>Gain</b>	<b>6dBi @ 2.45 GHz</b>
Polarization	Linear Vertical	Radiation	Directional
HPBW	90 Deg @vertical	Operating Temp	-30 °C ~+80 °C
Connector	SMA	Frequency Range	<b>2.4 ~ 2.5 GHz</b>
Cable	1.5M Filotex Cable	Max. Power	1W

#### <summary> OSI-06A

주파수 범위: 2.4 ~ 2.5 GHz, 지향성 안테나

Gain: 6 dBi @ 2.45 GHz

해당 안테나는 “유니콘 2.4 GHz OMNI 5 dBi OSI-05A”는  
무선랜 환경에서 보다 정확하고 신뢰성 높은 데이터 전  
송을 위한 2.4 GHz OMNI 5 dBi 의 무지향성 실내 안테나  
로, 무선랜 환경의 무선 라우터, AP 에 연결하여 AP 와  
각 노드 간의 안정적인 데이터 송수신을 도와줄 수 있  
는 제품으로 무선 송수신 대역 300~350 M 까지 확장이  
가능하다.



Figure 21 OSI-05A

Impedance	50 Ω	VSWR	1.92 Max
Return Loss	-10dB Max	<b>Gain</b>	<b>5 dBi @ 2.45 GHz</b>
Polarization	Linear Vertical	Radiation Pattern	Omni-directional
Frequency Range	<b>2.4 ~ 2.5 GHz</b>	Operating Temp	-30 °C ~+80 °C
Connector	SMA	Electrical Wave	1/2 λ, Dipole
Cable	1.5M Filotex Cable	Max. Power	1W

#### <summary>: OSI-05A

주파수 범위 : 2.4 ~ 2.5 GHz, 무지향성 안테나

Gain : 5 dBi @ 2.45 GHz

연구실 내에 “OSI-06A” 는 4 대가 존재하고, “OSI-  
05A” 는 여러 대가 존재하지만, 2023 년 7 월 기준  
단종된 제품이다.

2.2.4 Omni Antenna, 340 - 470 MHz, 2 dBi, Heavy  
Duty Spring Base

해당 안테나는 2023 년 6 월에 진행한 장거리 송수신  
실험에서 사용한 안테나로 총 3 대가 존재하며, 모두  
정상 작동하는 제품이다.

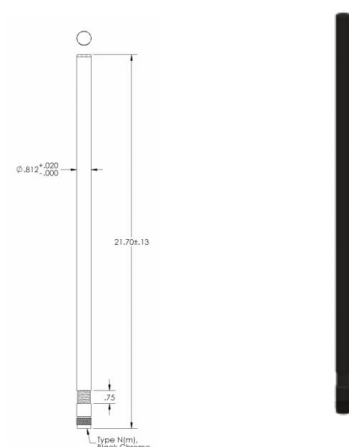


Figure 22 Omni Antenna, 340 - 470 MHz, 2 dBi,  
Heavy Duty Spring Base

안테나는 여러가지 특징을 갖고 있는데, 우선 주파수 범위가 340 ~ 470MHz 까지의 주파수 대역을 커버하고, 견고한 구조 (Rugged Construction)이기에, 야외 환경에서도 신뢰성 있게 작동하며, “튼튼한 스프링 베이스 (Heavy Duty Spring Base)” 를 가지고 있어 안테나를 지지하고 충격 완화하는 역할을 한다. 그리고 2 dBi Omni Radiation Pattern 을 갖고 있어, 주변 모든 방향으로 균일하게 전파를 방출하는 옴니 방사 패턴을 가지고 있기 때문에, 다방향 통신 또는 수신을 위한 안테나로 사용될 수 있다.

Parameter	Value	Units
Frequency Band	UHF	
Impedance	50	Ohms
Minimum Frequency	0.34 / 340	GHz / MHz
Maximum Frequency	0.47 / 470	GHz / MHz
Frequency Bandwidth	0.13 / 130	GHz / MHz
Maximum VSWR	2:1	Ratio
Maximum Gain	2	dBi
Polarization	Vertical	
Maximum RF Input Power	50	Watts
Horizontal (AZ) Beamwidth	360	Degrees
Vertical (EL) Beamwidth	80	Degrees
Ground Plane Required	No	
Color	Black	
Spring or Gooseneck	Spring	
Spring Length	0.75 / 19.05	inches / mm
Spring Diameter	0.75 / 19.05	inches / mm
Maximum Wind Velocity	62 / 100	mph / kph
RF Connector Type	Type-N(m)	
RF Connector Features	Black Chrome	

**Figure 23 Omni Antenna, 340 - 470 MHz, 2 dBi, Heavy Duty Spring Base**

<summary>: Omni Antenna, 340 - 470 MHz, 2 dBi  
주파수 범위: 340 ~ 470 MHz  
Gain: 2 dBi, 무지향성 안테나

### III. 결 론

본고에서는 Spectrum Analyzer 로 Insertion Loss 측정 시 발생한 오류의 경우, Center Frequency, VBW, Res BW 를 각각 바꿔가면서 살펴봤고, “Res BW” 가 가장 큰 영향을 준다는 것을 확인했고, “클레버로직” 장비를 이용한 실험 측정을 위해, 연구실 내 존재하는 안테나의 스펙을 알아봤다.

### 참 고 문 헌

[1] W1696/W1697, W1696-M,

<https://productfinder.pulseelectronics.com/api/open/part-attachments/datasheet/W1696-M>

[2] VERT2450 Antenna, Ettus, <https://www.ettus.com/all-products/vert2450/>  
<http://kb.microembedded.com/vert2450?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>

[3] 유니콘 OSI-06A 6dBi Gold 무선 안테나, [https://www.dbnawa.co.kr/products/products\\_view.php?cid=&sid=&tid=&q=&seq=5807](https://www.dbnawa.co.kr/products/products_view.php?cid=&sid=&tid=&q=&seq=5807)

[4] 강영운 (2008), “EECE695j Term Project 를 위한 4x4 MIMO TestBed 소개”

[5] Omni Antenna, 340 - 470 MHz, 2 dBi, Weatherproof Sealed Spring Base datasheet :  
<https://www.southwestantennas.com/omni-antennas/half-wave-dipole/omni-antenna-340-470-mhz-2-dbi-weatherproof-spring-base-1001-220>