

5G 시험장(CATR) 유효성 평가방법 연구



국립전파연구원
National Radio Research Agency

제 출 문

본 보고서를 「5G 시험장(CATR) 유효성 평가방법 연구」 과제의 최종
보고서로 제출합니다.

2021. 12. 31.

연구책임자 : 박 정 규(전파시험인증센터 적합성인증과)
연구원 : 임 중 혁(전파시험인증센터 적합성인증과)
 김 영 호(전파시험인증센터 적합성인증과)
 최 솔(전파시험인증센터 적합성인증과)

요 약 문

우리나라는 세계 최초로 5G 전파를 발사하고, 모바일 라우터 기반 기업 간 거래 B2B(Business to Business) 상용서비스를 개시한 이후 선진국들과의 치열한 경쟁 끝에 2019년 4월 3일 세계 최초로 스마트폰 기반 5G 서비스를 상용화했다.

5G 기지국은 온-칩(On-Chip) 형태로 개발되는 제품은 분리 측정이 어렵기 때문에 제품인증(성능검증)을 위해서는 OTA(Over-The-Air) 방사전력 측정 등 새로운 측정방법이 요구된다.

현재 3GPP에서는 28 GHz 대역 5G 핵심기술(다중 안테나 배열 빔포밍)이 적용된 방송 통신기지국에 대한 OTA 방사전력 측정·시험을 위한 다양한 방법이 소개되고 있다.

여러 방법 중에 현재 대부분의 시험기관에서는 CATR (Compact Antenna Test Range) 챔버를 도입하여 적합성평가 시험업무를 수행하고 있는 실정이다. 하지만, 현재 CATR 시험장에 대한 적합성평가 기준이 없어 제조사가 설치를 완료한 이후, 관련 시험장에서 균일장 (QZ : Quiet Zone)에 대한 측정·분석을 통해 도출한 값을 제출하면, 그 선언된 측정값을 적용하여 시험업무를 수행하고 있는 실정이다.

본 보고서에서는 이러한 문제를 해결하고자 5G 기지국 OTA 방사전력 시험 등을 위해 사용하는 CATR 챔버의 시험장 적합성 평가 기준을 마련하기 위한 대응연구를 수행하고 그 결과를 기술하였다.

목 차

제 1 장 서론	1
제 1 절 연구배경	1
제 2 절 5G 기자재 측정 표준화 동향 조사.....	2
제 2 장 CATR 시험장 및 안테나 설계 이론	11
제 1 절 CATR 시험장 동작 원리	11
2.1.1 CATR 측정 시스템 서리 절차	12
2.1.21 급전 혼 안테나	14
제 2 절 도파관 및 혼 안테나 설계 이론	15
2.2.1 프로브 안테나 설계 및 제작	19
2.2.2 혼 안테나 설계 및 제작	20
제 3 장 CATR 시험장 유효성 평가방법 연구	27
제 1 절 CATR 시험장 평가방법 및 동향.....	27
3.1.1 균일장(Quiet Zone) 평가방법	27
3.1.2 CATR Quiet Zone 공통 규격	29
3.1.3 CATR Quiet Zone 깊이 변동	30
제 2 절 CATR 시험장 적합성 평가 및 분석	31
3.2.1 CATR QZ 평탄도 측정장치	31
3.2.2 CATR QZ 특성 측정 및 결과 분석	33
제 3 절 CATR 시험장 평가 절차	45
3.3.1 CART 평탄도 측정장치 및 시스템 운용 절차	45
제 4 장 결 론	59
참 고 문 헌	60

표 목 차

표 1.2.1 TR 38.810에서 규정하는 4가지 측정방법	2
표 1.2.2 CATR과 DFF의 성능 비교	6
표 1.2.3 각 측정 방법들에 대한 측정 파라미터 적용	7
표 2.1.1 코러게이트 혼 안테나 특성	14
표 2.2.1 가공 치수 측정결과	23
표 3.3.1 RF 측정시스템	46
표 3.3.2 공구 등 측정 부대물품	47

그림 목 차

그림 1.2.1. 직접 원역장 측정(Direct far field, DFF) 챔버	3
그림 1.2.2 DFF (Direct far field)의 측정방법	4
그림 1.2.3 간소화 된 DFF (Direct far field) 측정방법.....	4
그림 1.2.4 'D'에 따른 전자파 무반사실 크기 및 Path loss의 변화	5
그림 1.2.5 간접 원역장 측정방법(Indirect far field, IFF)	5
그림 1.2.6 근역장-원역장 변환 측정방법(NFTF)	6
그림 2.1.1 CATR 평면파 형성 개념도	11
그림 2.1.2 반사경 정렬 상태 검증(우측 레이저트래커)	12
그림 2.1.3 급전타워 정렬 상태 검증	13
그림 2.1.4 CART 시스템 수신 안테나	13
그림 2.1.5 코러게이트 혼 안테나	14
그림 2.2.1 도파관 및 혼 안테나 개구면 구조	15
그림 2.2.2 프로브 안테나 모의실험	19
그림 2.2.3 제작된 프로브 안테나 사진	19
그림 2.2.4 가공된 프로브 안테나 개구면 가로/세로 측정	20
그림 2.2.5 프로브 안테나의 E-Plane 방사패턴	20
그림 2.2.6 프로브 안테나의 H-Plane 방사패턴	20
그림 2.2.7 혼 안테나 모의실험	21
그림 2.2.8 제작된 혼 안테나 사진	21

그림 목 차

그림 2.2.9. 개구면 가로 측정	22
그림 2.2.10 개구면 세로 측정	22
그림 2.2.11 혼 안테나의 E/H-Plane 방사패턴	23
그림 3.1.1 QZ에서의 진폭 테이퍼와 리플 규격 도시	29
그림 3.1.2 중앙급전 단일 반사경을 갖는 CATR 구조	30
그림 3.2.1 CATR 평탄도 측정장치	32
그림 3.2.2 CATR 챔버 내에 설치된 평탄도 측정장치버	32
그림 3.2.3 평탄도 측정장치 수평조절	34
그림 3.2.4 평탄도 측정장치 앞/뒤 기울어짐 정렬 점검	34
그림 3.2.5 평탄도 측정장치 및 측정장비	35
그림 3.2.6 평탄도 측정장치 = 0°일 때 진폭 및 위상	36
그림 3.2.7 평탄도 측정장치 = 90°일 때 진폭 및 위상	37
그림 3.2.8 평탄도 측정장치 = 180°일 때 진폭 및 위상	38
그림 3.2.9 평탄도 측정장치 = 270°일 때 진폭 및 위상	39
그림 3.2.10 CATR QZ 측정 횡단면	40
그림 3.2.11 CATR QZ 측정 횡단면(후면, 수직 편파)	41
그림 3.2.12 CATR QZ 측정 횡단면(후면, 수평 편파)	41
그림 3.2.13 CATR QZ 측정결과(후면)	41
그림 3.2.14 CATR QZ 측정 횡단면(중간면, 수직 편파)	42

그림 목 차

그림 3.2.15 CATR QZ 측정 횡단면(중간면, 수평 편파)	42
그림 3.2.16 CATR QZ 측정결과(중간면)	42
그림 3.2.17 CATR QZ 측정 횡단면(앞면, 수직 편파)	43
그림 3.2.18 CATR QZ 측정 횡단면(앞면, 수평 편파)	43
그림 3.2.19 CATR QZ 측정결과(앞면)	43
그림 3.2.20 사각 격자에 근접한 radial-angle scan 방법	45
그림 3.3.1 평탄도 측정장치 거치 및 운용프로그램 사진	46
그림 3.3.2 스펙트럼분석기(UXA).....	47
그림 3.3.3 평탄도 측정장치 구동 및 데이터 수집	48
그림 3.3.4 평탄도 측정장치 거치 후 지점 별 수평확인	49
그림 3.3.5 p축에서 스캔한 진폭값(좌측), 위상값(우측) 예시	50
그림 3.3.6 프로그램 실행 시 첫 화면	51
그림 3.3.7 Motion 셋팅화면	52
그림 3.3.8 RF 성능측정 셋팅화면.....	53
그림 3.3.9 Disply/Save 화면	54
그림 3.3.10 스캐닝 시작 대기중	54
그림 3.3.11 스캐닝 실시	55
그림 3.3.12 Start Scan 종료 버튼 활성화	55
그림 3.3.13 데이터 분석 소프트웨어 및 분석화면	56



제1장 서론

제1장 서론

제1절 연구배경

우리나라는 세계 최초로 5G 전파를 발사하고, 모바일 라우터 기반 기업 간 거래 B2B(Business to Business) 상용서비스를 개시한 이후 선진국들과의 치열한 경쟁 끝에 2019년 4월 3일 세계 최초로 스마트폰 기반 5G 서비스를 상용화했다.

5G 상용화 이전에는 새로운 시스템 및 서비스 상용화에 따른 연구개발 순기는 항상 먼저 시제품을 개발해보고 측정·분석을 통해 그 성능의 우수성과 안정성이 입증되면 표준화를 진행해 온 반면, 5G의 연구개발 순기는 표준화(상용화)를 먼저 추진하고 측정기술이 개발되고 있는 실정이다.

현재 3GPP에서는 28 GHz대역 5G 핵심기술(다중 안테나 배열 빔포밍)이 적용된 방송통신 기지국에 대한 OTA(Over-The-Air) 방사전력 시험을 위한 다양한 방법이 소개되고 있으며, 현재 대부분의 시험기관에서 CATR(Compact Antenna Test Range) 챔버를 도입하여 적합성평가 시험업무를 수행하고 있다. 하지만, 현재 CATR 시험장에 대한 적합성평가 기준이 없어 제조사가 설치를 완료한 이후, 관련 시험장에서 균일장(QZ : Quiet Zone)에 대한 측정·분석을 통해 도출한 값을 제출하면, 그 선언된 측정값을 적용하여 시험업무를 수행하고 있는 실정이다.

따라서, 시험장평가 마련을 통해 안전한 전파이용환경 조성에 필요한 5G 방송통신 기지국 적합성평가 시험 신뢰성 제고가 시급하다.

본 보고서에서는 5G 기지국 OTA 방사전력 시험 등을 위하여 사용하는 CATR 챔버의 시험장 적합성 평가 기준을 마련하기 위한 대응연구로서 CATR 균일장 QZ의 주요특성 파라미터에 대하여 알아보고 이러한 특성측정을 위한 기존의 특성평가 방법과 CATR QZ의 주요 성능지표에 대해 조사하였다.

이 성능지표가 CATR에서의 안테나 성능(패턴, 이득 등) 측정에 미치는 영향을 분석하기 위해 평탄도 측정장치를 자체 개발하여 전파시험인증센터 사후관리과에서 구축하여 운용중인 CATR 챔버에서 시험장 균일장 특성을 측정·분석하였다. 구체적인 설명에 앞서 현재 3GPP에서 발간된 5G 기자재 측정 표준화 동향을 다음절에서 소개한다.

제2절 5G 기자재 측정 표준화 동향 조사

현재 밀리미터파대역 5G 단말기(User Equipment)에 대한 OTA 측정방법은 3GPP TR 38.810에서 규정하고 있다. 현재까지 3GPP TR 38.810에서 규정하고 있는 4가지 측정방법은 <표 1.2.1>와 같다.

<표 1.2.1> TR 38.810에서 규정하는 4가지 측정방법

No.	Method
1	직접 원역장 측정법(Direct Far Field, DFF)
2	빔 센터에 대한 직접 원역장 측정 간소화법(DFF simplification)
3	간접 원역장 측정법(Indirect Far Field, IFF) Compact Antenna Test Range
4	근역장-원역장 변환 측정법(Near Field to Far Field Transform, NFFT)

현재 5G가 상용화 된 각국의 시험소에서는 3GPP 간접 원역장 측정법(Indirect Far Field, IFF)을 준용하여 5G 인증시험에 활용하고 있다.

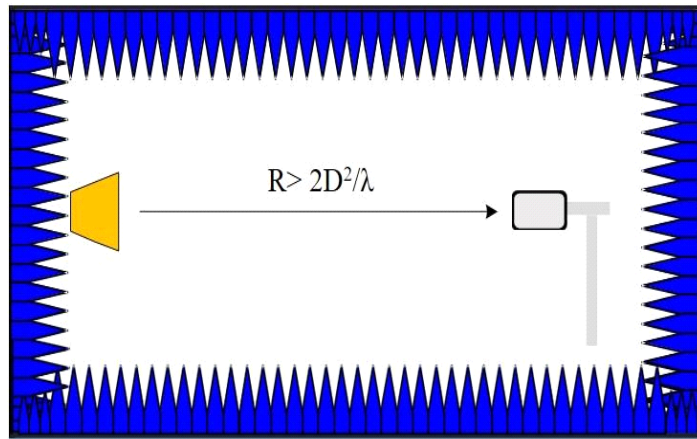
또한, 추가적으로 '18년 3GPP TSG-RAN WG4 Meeting #86회의에서는 잔향챔버(Reverberation chamber)를 이용한 TEST 방법(R4-1803412)과 원거리장 변환이 없는 근거리장 테스트 방법(R4-1805896)이 제안되었으나 승인되지 않았다.

따라서 본 절에서는 3GPP TR 38.810 규정하고 있는 4가지 측정방법에 대하여 자세하게 기술하고자 한다.

1.2.1 직접 원역장 측정법(DFF)

DFF은 5G NR RF 시험을 위한 3GPP 허용된 시험방법이며, [그림 1.2.1]과 같이 일반적으로 DUT는 Quiet Zone(QZ)의 중심에서 회전하는 2차원 포지셔너에서 배치되어 있으며, 전자파 무반사실과 원역장(Far-field) 프로브로 구성된 기본 RF 시험방법이다.

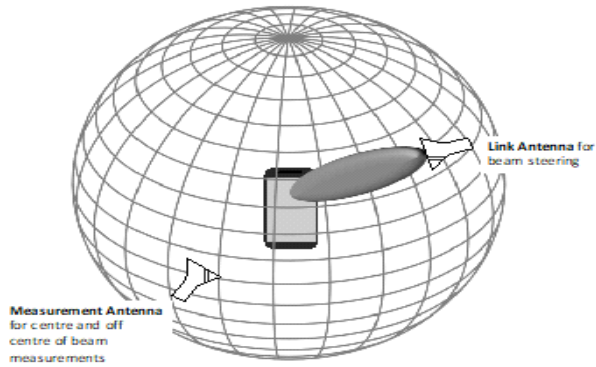
전자파 무반사실의 Far-field(Fraunhofer) 반경 거리 'R'은 $R > 2D^2/\lambda$ 로 설명할 수 있다. 여기서, D는 DUT 안테나의 대각선 최대길이이며, $\lambda = c/f$ 이다.



[그림 1.2.1] 직접 원역장 측정(Direct far field, DFF) 챔버

DFF의 측정방법은 안테나 수에 따라 2가지 방법으로 3GPP에서 정의되어 있다. 일반적인 DFF의 경우 [그림 1.2.2]와 같이 2개의 개별 프로브 안테나로 구성된다.

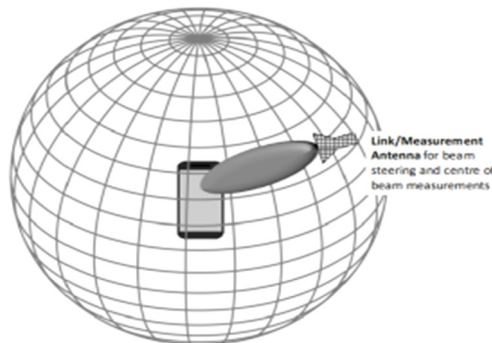
하나의 송수신(Tx, Rx) 링크 안테나는 DUT에 연결되어 주로 DUT를 향해 빔을 조향하는데 사용되며, 또 다른 안테나는 전자파 무반사실의 구형을 둘러싸는 3차원 공간의 어느 곳으로나 이동할 수 있는 DUT 측정 안테나이다.



[그림 1.2.2] DFF (Direct far field)의 측정방법

또한, 3GPP TR 38.509에서는 5G FR2 장치 테스트를 위한 UE(User Equipment)의 적합성 테스트 중 하나인 UBF(UE Beamlock test function) 기능을 정의하고 있다. UBF는 UE 안테나의 빔-피크(Beam-Peak) 방사패턴이 기지국 안테나 빔에 고정되게 하는 것을 의미한다.

여기서, 또 다른 DFF 측정방법 중 하나인 빔 센터에 대한 직접 원역장 측정 간소화법(DFF simplification)의 경우 [그림 1.2.3]과 같이 1개 안테나만으로 링크설정과 패턴 측정을 모두 측정 가능하기 때문에, UBF는 call connection을 유지하면서 off-axis UE 성능 측정이 가능한 장점이 있다.

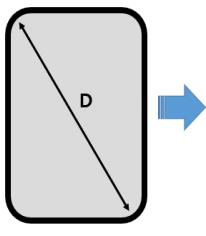


[그림 1.2.3] 간소화 된 DFF (Direct far field) 측정방법

하지만, [그림 1.2.4]와 같이 주어진 주파수에 대해 전자파 무반사실의 크기는 안테나의

크기가 커질수록 증가하게 되며, 이로 인하여 전송 손실(Path loss)이 크게 증가하게 된다. 여기서 안테나 크기를 항상 제조자가 언급하는 것은 아니므로, UE의 가장 큰 물리적 치수(일반적으로 휴대폰에서 가장 큰 대각선 길이)를 'D'의 값으로 고려할 수 있다.

즉, DFF 방법은 구현이 간단하지만 구축 비용이 많이 들고 유지 관리가 힘들어 DFF 접근법과 유사한 테스트 정확도를 유지하면서 테스트 영역을 줄이기 위한 대안으로 5G OTA 방사 측정에 대한 접근법이 필요하다.

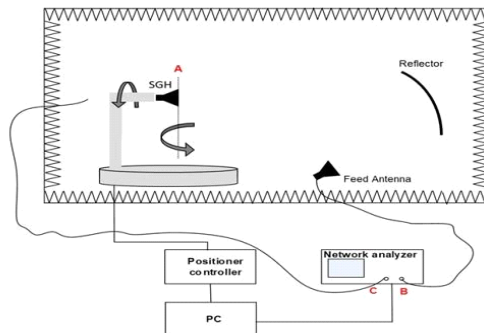


D(cm)	Freq.(GHz)	Near/Far Boundary(cm)	Path Loss(dB)
5	28	47	54.8
10	28	187	66.8
15	28	420	73.9
20	28	747	78.9
25	28	1167	82.7
30	28	1681	85.9

[그림 1.2.4] 'D'에 따른 전자파 무반사실 크기 및 Path loss의 변화

1.2.2 간접 원역장 측정법(IFF)

DFF의 문제를 보완하기 위한 IFF 방법으로는 CATR (Compact antenna test range) 챔버를 사용하여 파라볼릭 반사경(Parabolic reflector)을 이용하여 간접적으로 평면파를 주사하는 방식이 있으며 [그림 1.2.5]와 같다. IFF 방법은 Parabolic reflector와 이중편파 feed 혼 안테나, DUT 포지셔너, 차폐시설(챔버)로 구성되어 있다. CART 기반 시험방식에서 원거리장의 거리 $R = 3.5 \times \text{size of reflector} = 2 \times D$ 이며 반사경에서 DUT가 위치한 Quiet Zone에 이상적인 평면파를 제공한다.



[그림 1.2.5] 간접 원역장 측정방법(Indirect far field, IFF)

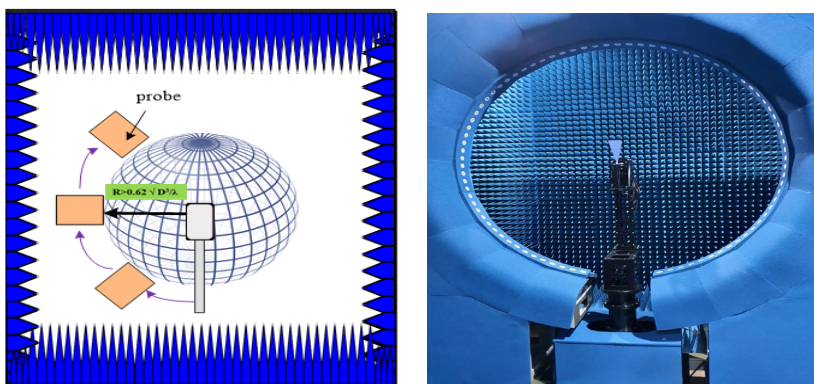
이 방법의 장점은 반사경(reflector)을 이용하여 DUT가 $2D^2/\lambda$ 보다 짧은 거리의 원거리 평면파 조건에서 테스트가 가능하기 때문에 <표 1.2.2>와 같이 DFF 방법보다 훨씬 작은 공간과 낮은 Path loss를 갖는 장점을 가지고 있다. 하지만 이 방법은 Feed 혼 안테나의 주파수 의존성(도파관 공진특성)으로 인해 그 범위로 제한된다. 즉, 측정할 주파수 대역에 따라 여러 개의 Feed 혼 안테나가 필요한 단점을 가지고 있다.

<표 1.2.2> CATR과 DFF의 성능 비교

DUT size (cm)	Frequency (GHz)	Path Loss of CATR (dB)	Path Loss of DFF (dB)
5	28	52.3	54.8
10	28	58.3	66.8
15	28	61.8	73.9
30	28	67.8	85.9

1.2.3 근역장-원역장 변환 측정법(NFTF)

[그림 1.2.6]과 같이 NFTF 방법은 소형 챔버 내에서 원거리장 환경을 구성하는 방법이다. 이 방법은 Near-field to farfield 변형 함수를 이용하여 근거리장에서 측정한 데이터를 고속 푸리에 변환을 사용하여 원거리장에서 측정한 데이터로 변환시키는 방법이며 그에 따른 거리는 근거리장 공식인 $R > 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ 를 만족시켜야 한다.



[그림 1.2.6] 근역장-원역장 변환 측정방법(NFTF)

NFTF 방법은 소형 챔버 내에서 [그림 1.2.6] 오른쪽과 같이 다중 프로브

안테나를 배열하여 구현이 가능하며, CATR 방식에 비해 시험시간을 상당히 단축할 수 있다. 또한 기존 측정방법에 비하여 훨씬 작은 공간에서 측정을 진행할 수 있다는 장점을 가진다.

하지만, 많은 수의 프로브 각각의 포인트에 대하여 측정을 수행하지 않고서는 수신된 전력 변환이 어려우며, 측정에 사용되는 프로브 안테나는 일반적으로 주파수 범위가 매우 좁기 때문에 FR2 주파수 외 스푸리어스(Spurious) 대역에서 별도의 안테나 프로브가 필요한 단점이 있다.

추가적으로 현재 3GPP TR 38.810에서 요구하고 있는 각 측정방법들에 대한 측정 파라미터를 살펴보면 <표 1.2.3>에서 보여주는 바와 같이 NTF 방법은 EVM과 Blocking은 측정할 수 없다는 단점을 가지고 있다.

<표 1.2.3> 각 측정 방법들에 대한 측정 파라미터 적용

	DFF	CATR	NTF
EIRP	측정 가능	측정 가능	측정 가능
TRP	측정 가능	측정 가능	측정 가능
EVM	측정 가능	측정 가능	측정 불가능
Spurious emission	측정 가능	측정 가능	측정 가능
Blocking	측정 가능	측정 가능	측정 불가능

지금까지 3GPP에서 발간한 5G 기지국 시험방법에 대해 살펴보았다. 다음 장에서는, 시스템 구축비용 등을 고려해서 현재 세계 각국의 시험기관에서 5G 방송통신기지국 시험을 위해 구축·운영하고 있는 CATR 시험장 설계이론 및 시험장 평가에 사용하는 프로브 및 혼 안테나 설계 이론을 소개하고자 한다.



제2장

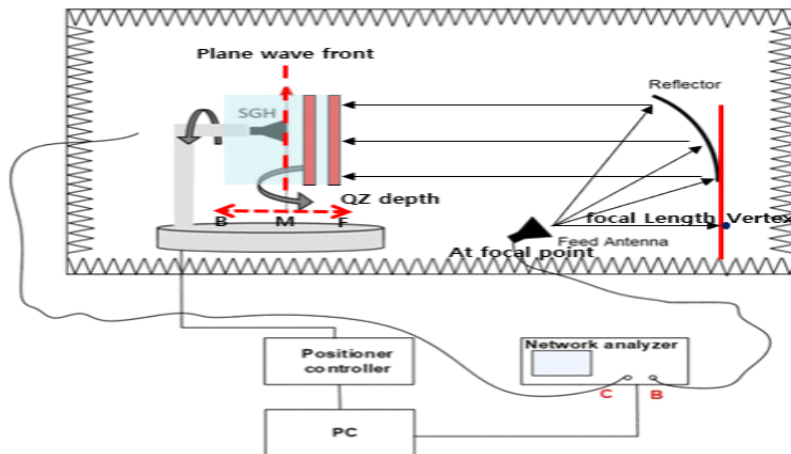
CATR 시험장 및 안테나 설계 이론

제2장 CATR 시험장 및 안테나 설계 이론

제1절 CATR 시험장 동작 원리

[그림 2.1.1]에서 보여주는 바와 같이, CATR(Compact Antenna Test Range) 챔버는 급전 안테나와 포물면 반사경으로 구성된다. 포물면의 초점에 위치한 급전 안테나에서 반사경을 향해 방사되는 구면파가 반사경 표면에서 한 방향으로 반사되어 평면파를 발생시킨다.

평면파가 형성된 위치는 통상 QZ(Quiet Zone)이라 일컬으며, 그 공간에서 측정하고자 하는 안테나(AUC)를 놓고 측정을 수행한다. 이때 이 공간은 원거리장에서 실험하는 것과 같은 효과를 얻을 수 있다. 요약하자면 CATR 챔버는 인위적으로 근거리(작은 실내 챔버 공간)에서 평면파를 형성하는 장치이다.



[그림 2.1.1] CATR 평면파 형성 개념도

앞서 설명한 바와 같이 CATR의 동작 원리는 단순하다. 하지만 이를 실제 구현하여 우수한 성능의 평면파를 형성시키기는 쉽지 않다.

왜냐하면 CATR에서 일어나는 전자기 현상은 [그림 2.1.1]과 같이 광선의 진행과

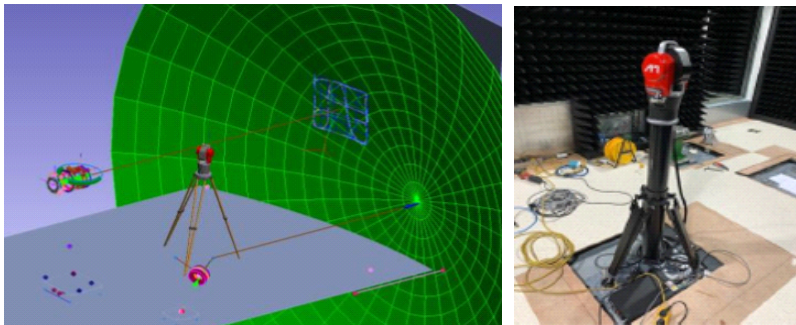
반사면 이루어지지 않고 반사경 끝단에서의 회절, 급전 안테나로부터 측정영역(QZ)으로 진행되는 전자파에 의한 간섭, 반사경 표면 가공 오차에 의한 왜곡, 주파수에 따라 변하는 급전 안테나 빔 패턴 등이 균일한 평면파 특성을 왜곡시켜 측정 오차를 발생한다.

따라서 적합성평가 시험의 신뢰도 제고를 위해서는 CATR 챔버 균일장 특성을 주기적으로 평가할 필요가 있다.

2.1.1 CATR 측정 시스템 설치 절차

CATR 측정 시스템은 [그림 2.1.1]에서 보는 바와 같이 전자파 무반사 챔버 안에 파라볼릭 반사경, 급전(Feed) 혼 안테나, 360도 회전 가능한 AUT 포지셔너로 구성되어 있다.

AUT 측정 포지셔너 위치에서 정해진 규격에 맞는 균일장 특성을 얻기 위해서는 사전에 전자기(Electro-Magnetic) 모의실험으로 검증된 각각의 구성품(반사경, 급전 혼, 포지셔너)이 설계된 크기와 높이, 설계에서 정해진 위치(공간 좌표)에 정확하게 설치해야 한다.

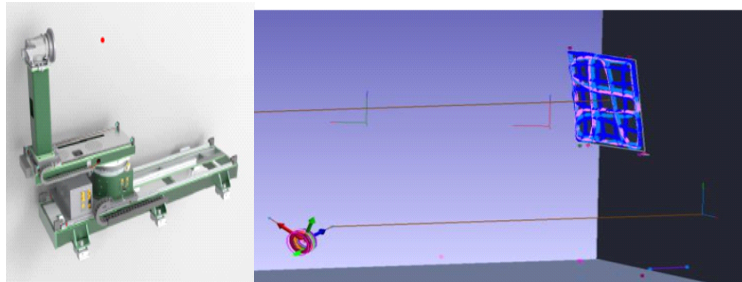


[그림 2.1.2] 반사경 정렬 상태 검증(우측 레이저트래커)

먼저 반사경 정렬 상태를 검증하기 위해서는 [그림 2.1.2]와 같이 설계된 전체 시스템 공간 좌표(x , y , z)가 필요하다. 여기에서 포물형 반사경 꼭지점이 원점이 되며 [그림 2.1.3]과 같이 설계·제작된 사각 파라볼릭 반사경은 모서리 4점의 공간

좌표를 이용하여 정확한 위치에 설치한다.

이때, [그림 2.1.3]에서 보는 바와 같이, 전파 방향은 z 축을 향하고 급전 타워가 있는 방향은 평면파가 형성되는 xy 면이 된다. 급전타워 턴테이블의 중심 원점에서 반사경 중심 방향 z 축으로 정확하게 설치한다. 이때 정확한 공간좌표를 확인하기 위해 레이저트래커를 사용한다.



[그림 2.1.3] 급전타워 정렬 상태 검증

[그림 2.1.4]는 CATR 우측 하단부에 설치되는 수신부의 모습을 보여주고 있다. 여기에서 설치되는 혼 안테나도 마찬가지로 설계된 시스템 공간 좌표 위치에 정확하게 위치시켜야 한다. 위치가 조금이라도 틀어지면 반사경에 조준하는 focal point가 틀어져서 평면파 형성에 문제가 발생할 수 있으며 거치된 보조기구(슬라이드 형태)를 미세조정하여 튜닝이 가능하다.

이때 AUT 포지셔너와 수신 안테나부에 상호 간섭을 최소화하기 위해서는 흡수체 설치가 반드시 필요하다.



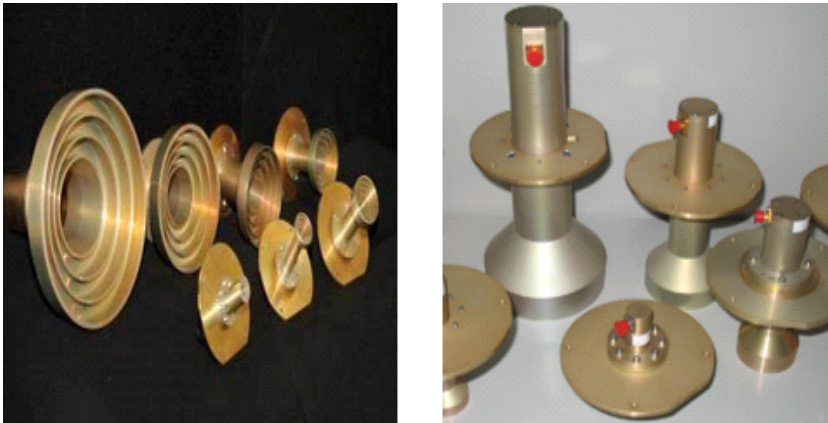
[그림 2.1.4] CART 시스템 수신 안테나

2.1.2 급전 혼 안테나

CATR 챔버의 급전 안테나 방사특성은 균일장 측정영역(QZ)내 평면파의 전계 분포 특성을 결정하는 중요한 요소가 된다. 균일한 평면파 형성을 위해서는 반사경에 인가되는 전계가 최대한 균일하여야 한다. 이는 곧 반사경 방향 조향각 내에서 급전 안테나의 이득 변화가 적어야 함을 나타낸다.

따라서, 콤팩트 레인지(Compact Range)의 동작 대역폭 내에서 가능한 일정한 빔 폭을 갖는 안테나를 사용해야 한다. 특히, 동시에 편파 특성 측정을 위해서는 축 방향 기준 회전 대칭적인 빔을 방사해야 한다.

따라서 전파시험인증센터에서는 [그림 2.1.5]와 같은 코러게이트 혼 안테나를 보유하고 있으며, 각각의 안테나 특성은 <표 2.1.1>에 정리하였다.



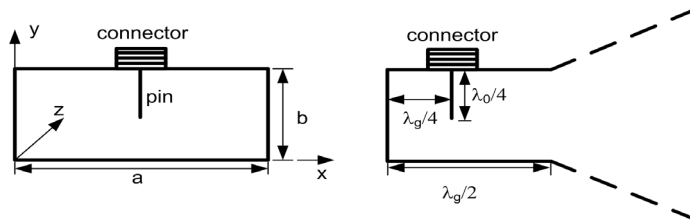
[그림 2.1.5] 코러게이트 혼 안테나

<표 2.1.1 > 코러게이트 혼 안테나 특성

Part Number	Frequency band [GHz]	Gain [dBi]	VSWR
ASY-CWG-D-058	6.0 - 8.2	13.5	< 1.5
ASY-CWG-D-082	8.2 - 12.4	13.5	< 1.5
ASY-CWG-D-124	12.4 - 18.0	13.5	< 1.5
ASY-CWG-D-180	18.0 - 26.5	13.5	< 1.5
ASY-CWG-D-265	26.5 - 40.0	13.5	< 1.5
ASY-CWG-D-400	40.0 - 60.0	13.5	< 1.5

제2절 도파관 및 혼 안테나 설계이론

본 절에서는 CATR 챔버의 시험장 균일장(QZ) 검증을 위해 사용하는 도파관 및 혼 안테나의 설계이론을 살펴본다. 혼 안테나는 급전 점으로부터 입력된 전파를 전달하는 도파관과 공간으로 방사하기 위한 개구면으로 구성된다. [그림 2.2.1]에서 보는 바와 같이 도파관의 크기, 특히 폭(a)은 전달되는 전자파의 차단 주파수(f_c)를 결정하게 되며 일반적으로 도파관의 높이(b)의 약 2배의 길이를 갖는다.



[그림 2.2.1] 도파관 및 혼 안테나 개구면 구조

직사각형 도파관은 TM , TE 모드(mode)가 존재하지만 TEM 모드는 존재하지 않는다. 따라서 전송선 또는 도파관에서 z 방향으로 진행하는 전자파의 맥스웰 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\nabla \times \ddot{\vec{E}} &= -j\omega\mu\ddot{\vec{H}} \\ \nabla \times \ddot{\vec{H}} &= -j\omega\epsilon\ddot{\vec{E}}\end{aligned}\quad (2.2.1)$$

여기서

$$\begin{aligned}\ddot{\vec{E}} &\equiv [E_x(x,y)e^{-j\beta z}, E_y(x,y)e^{-j\beta z}, E_z(x,y)e^{-j\beta z}], \\ \ddot{\vec{H}} &\equiv [H_x(x,y)e^{-j\beta z}, H_y(x,y)e^{-j\beta z}, H_z(x,y)e^{-j\beta z}]\end{aligned}\quad (2.2.2)$$

이다.

TE 모드는 $E_z = 0$ 이고 $H_z \neq 0$ 이므로 식 (2.2.1)과 식 (2.2.2)로부터 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$H_x = -\frac{j\beta}{k_c^2} \partial_x \frac{H_z}{\partial_x}$$

$$\begin{aligned}
H_y &= -\frac{j\beta}{k_c^2} \partial \frac{H_z}{\partial y} \\
E_x &= -\frac{j\omega\mu}{k_c^2} \partial \frac{H_z}{\partial y} \\
E_y &= -\frac{j\omega\mu}{k_c^2} \partial \frac{H_z}{\partial x}
\end{aligned} \tag{2.2.3}$$

여기서, $k_c^2 = k^2 - \beta^2$ 이며 $k = \omega \sqrt{(\mu\epsilon)}$ 로 도파관 내의 파수 벡터이고 k_c 는 차단 파수 벡터(cutoff wavenumber)로 정의되고 도파관에서 전자파가 전달될 수 있는 주파수 특성이며 다음과 같이 유도된다. [그림 2.2.1]과 같은 도파관 구조의 자기장 성분 H_z 에 대한 파동방정식은 다음과 같다.

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + k_c^2 \right) H_z(x, y) = 0 \tag{2.2.4}$$

변수 분리에 따라 $H_z(x, y) = X(x)Y(y)$ 라 하면 다음이 성립한다.

$$\begin{aligned}
\frac{d^2 X}{dx^2} + k_x^2 X &= 0 \\
\frac{d^2 Y}{dy^2} + k_y^2 Y &= 0 \\
k_x^2 + k_y^2 &= k_c^2
\end{aligned} \tag{2.2.5}$$

H_z 에 대한 일반해는

$$= (A \cos k_x x + B \sin k_x x) (C \cos k_y y + D \sin k_y y) \tag{2.2.6}$$

과 같이 해석된다.

따라서 도파관 도체 벽의 접선성분에 대한 전기장은

$$\begin{aligned}
E_x(x, y) &= 0, \quad 0 \leq y \leq b \\
E_y(x, y) &= 0, \quad 0 \leq x \leq a
\end{aligned} \tag{2.2.7}$$

이므로 식 (2.2.5) ~ (2.2.7)에 따라

$$H_z(x, y, z) = A_{mn} \cos\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \cos\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z} \text{ 이고,}$$

$$\begin{aligned}
 E_x(x, y, z) &= \left(-\frac{j\omega\mu n\pi}{k_c^2 b} \right) A_{mn} \cos\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z} \\
 E_y(x, y, z) &= \left(-\frac{j\omega\mu n\pi}{k_c^2 a} \right) A_{mn} \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \cos\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z} \\
 H_x(x, y, z) &= \left(\frac{j\beta m\pi}{k_c^2 a} \right) A_{mn} \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \cos\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z} \\
 H_y(x, y, z) &= \left(\frac{j\beta m\pi}{k_c^2 b} \right) A_{mn} \cos\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z} \quad (2.2.8)
 \end{aligned}$$

이다.

TM 모드에서는 $H_z = 0$ 이고 $E_z \neq 0$ 이므로 TE 모드에서와 같은 과정을 거치면

$$\begin{aligned}
 E_z(x, y, z) &= B_{mn} \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z} \\
 E_x(x, y, z) &= \left(-\frac{j\beta m\pi}{k_c^2 a} \right) B_{mn} \cos\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z} \\
 E_y(x, y, z) &= \left(-\frac{j\beta n\pi}{k_c^2 b} \right) B_{mn} \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \cos\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z} \\
 H_x(x, y, z) &= \left(-\frac{j\omega\epsilon n\pi}{k_c^2 b} \right) B_{mn} \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \cos\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z} \\
 H_y(x, y, z) &= \left(-\frac{j\omega\epsilon m\pi}{k_c^2 a} \right) B_{mn} \cos\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right) e^{-j\beta z} \quad (2.2.9)
 \end{aligned}$$

를 얻게 된다.

위에서 유도된 식으로부터 TE 및 TM 모드에서 전파상수 β 는

$$\beta = \sqrt{(k^2 - k_c^2)} = \omega \sqrt{[k^2 - (m\pi/a)^2 - (n\pi/b)^2]} \quad (2.2.10)$$

식 (2.2.10)과 같이 주어지는데,

$$k > k_c = \sqrt{[(m\pi/a)^2 + (n\pi/b)^2]} \quad (2.2.11)$$

일 때, β 가 실수가 되어 도파관내에서 전파가 가능하게 된다. $a > b$ 인 경우 식 (2.2.8)

과 식 (2.2.11)에 따라 TE 모드에서 가장 낮은 주파수는 $m = 1, n = 0$ 으로 TE_{10} 모드로

$$f_c = \frac{ck_c}{2\pi} = \frac{\left[\sqrt{\left(\frac{\pi}{a}\right)^2} \right]}{2\pi} = \frac{c}{2a} \quad (2.2.12)$$

이다. 여기서 c 는 전자파의 자유공간 속도 약 3×10^8 m이다. 한편, TM 모드에서는 식 (2.2.9)와 식 (2.2.11)에 의해서 TM_{00} , TM_{0l} , TM_{l0} 모드는 존재하지 않는다. 따라서 도파관을 통과할 수 있는 모드는 TM_{ll} 로 최저 주파수는 다음과 같다.

$$f_c = \frac{ck_c}{2\pi} = \frac{\left\{ c \sqrt{\left(\frac{\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{b}\right)^2} \right\}}{2\pi} \quad (3.2.13)$$

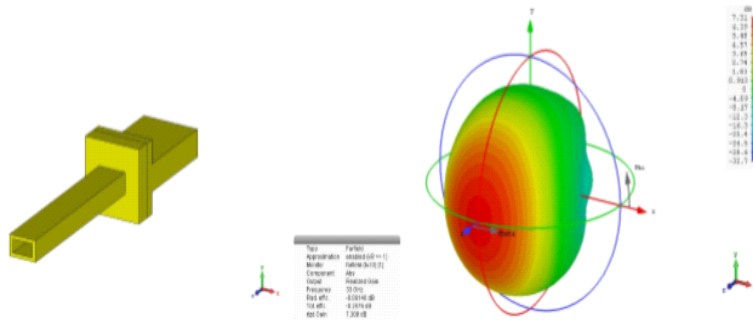
따라서 도파관을 통과하는 최저 주파수인 차단 주파수(f_c)는 TE_{10} 모드인 식 (2.2.12)이다. 파수 벡터들의 관계식 (2.2.10)을 파장으로 표시하면 $\beta = \frac{2\pi}{\lambda_g}$, $k = \frac{2\pi}{\lambda_0}$, $k_c = \frac{2\pi}{\lambda_c}$ 이므로 식 (2.2.10)은 다음과 같이 된다.

$$\frac{1}{\lambda_g} = \sqrt{\left(\frac{1}{\lambda_0^2} - \frac{1}{\lambda_c^2}\right)} \quad (3.2.14)$$

[그림 2.2.1]의 직사각형 도파관 구조에서 길이는 $L = \frac{\lambda_g}{2}$, 급전 핀의 높이 $L_0 = \frac{\lambda_0}{4}$ 가 성립한다.

2.2.1 프로브 안테나 설계 및 제작

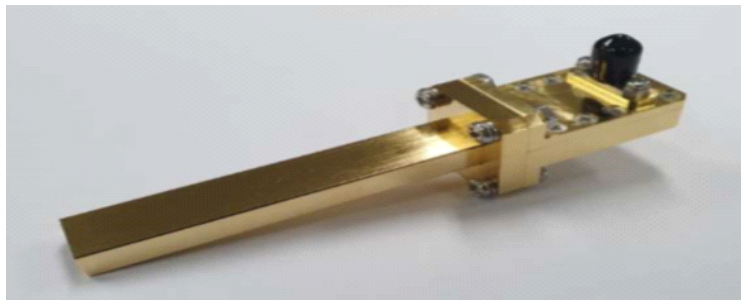
[그림 2.2.2]는 CATR 시험장 평가를 위해 설계한 프로브 안테나 모의실험을 결과를 보여준다. 이때 28 GHz 대역에서의 안테나 이득은 6.7 dBi이며, 3 dB 빔폭은 약 60°의 특성을 갖는다.



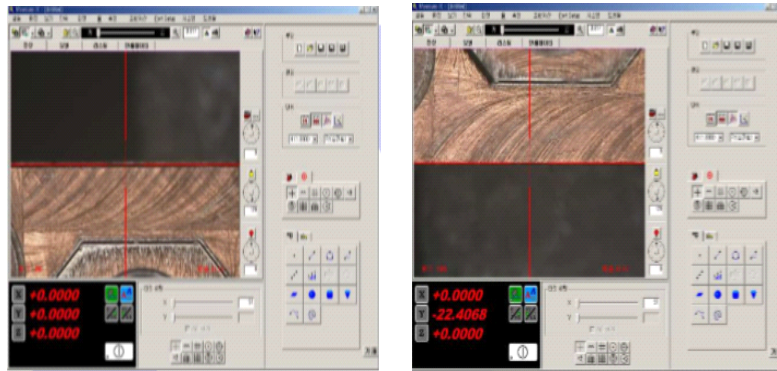
[그림 2.2.2] 프로브 안테나 모의실험

[그림 2.2.3]은 제작된 프로브 안테나 사진을 보여준다. 제작된 프로브 안테나는 1/100 mm 이내 공차를 갖도록 실제 설계한 수치대로 정밀하게 가공하였다. [그림 2.2.4]에서는 3D 측정기를 사용하여 정밀 가공된 프로브 안테나의 치수를 측정된 결과를 보여주고 있다. 측정결과 폭(Width)에서는 약 6.8 μm , 높이(Length)에서는 약 7.2 μm 제작 오차를 갖는 것을 확인하였다.

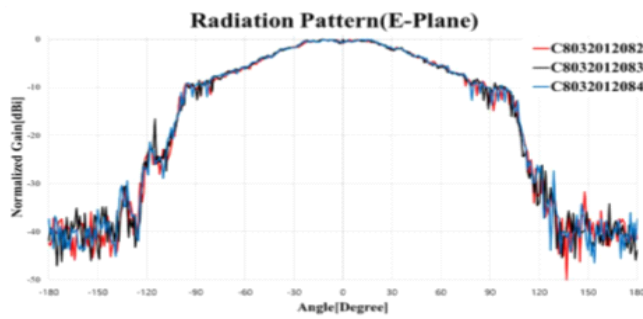
제작된 프로브 안테나의 방사패턴 측정결과와는 [그림 2.2.5]와 [그림 2.2.6]과 같으며, 이득은 6.4 dBi, 3 dB 빔폭은 60° 정도로 모의실험 결과와 유사한 특성을 보였다.



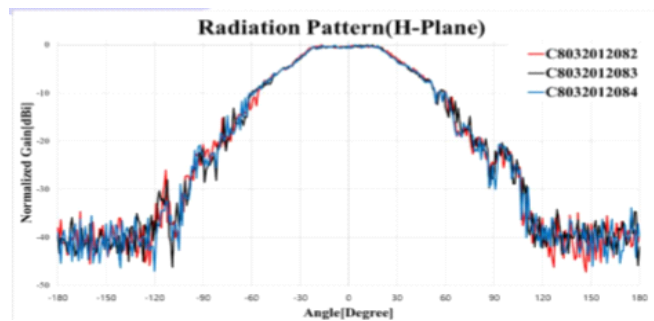
[그림 2.2.3] 제작된 프로브 안테나 사진



[그림 2.2.4] 가공된 프로브 안테나 개구면 가로/세로 측정



[그림 2.2.5] 프로브 안테나의 E-Plane 방사패턴

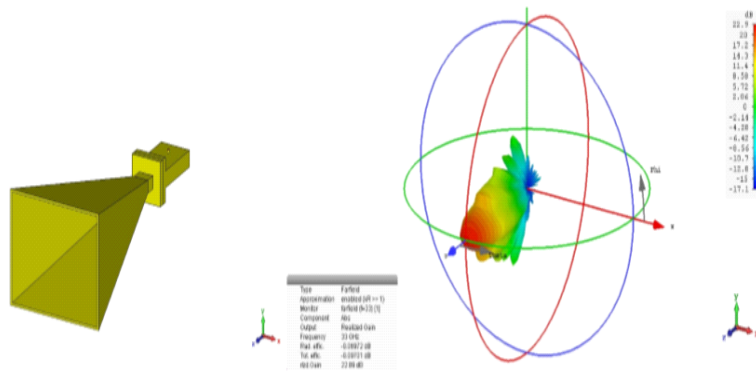


[그림 2.2.6] 프로브 안테나의 H-Plane 방사패턴

2.2.2 혼 안테나 설계 및 제작

[그림 2.2.7]은 CATR 시험장 평가를 위해 설계한 피라미드형 혼 안테나 모의실험을 결과를 보여준다. 이때 28 GHz 대역에서의 안테나 이득은 22.1 dBi이며,

3 dB 빔폭은 약 15°의 특성을 갖는다.



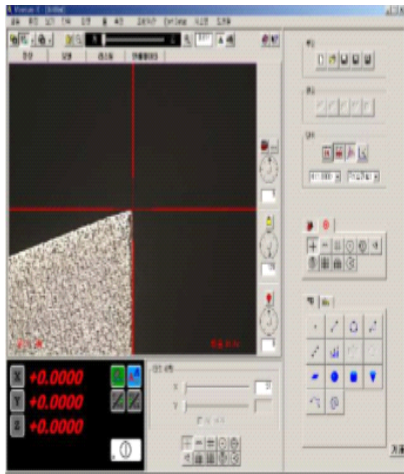
[그림 2.2.7] 혼 안테나 모의실험

[그림 2.2.8]은 제작된 혼 안테나 사진을 보여주며, 제작된 혼 안테나도 마찬가지로 1/100 mm 이내 공차를 갖도록 실제 설계한 수치대로 정밀하게 가공하였다. [그림 2.2.9], [그림 2.2.10]에서 보여주는 바와 같이, 정밀 3D 측정기를 사용하여 가공된 혼 안테나 치수를 측정하였다. 측정결과 개구면 가로/세로, 전체길이 어답터 폭, 높이 항목에서 모두 10 μm 이내의 제작 오차를 갖는 것을 확인하였으며 <표 2.2.1>에 정리하였다.

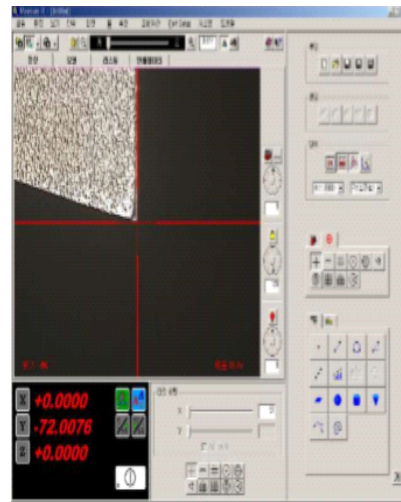
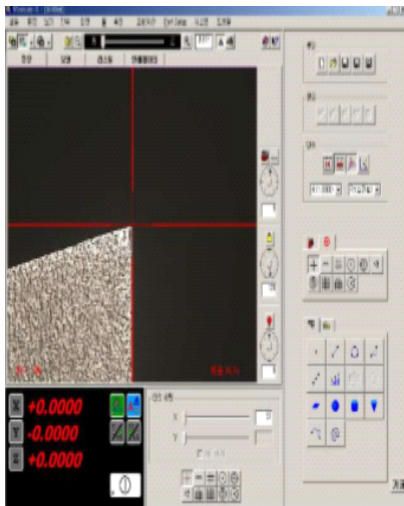
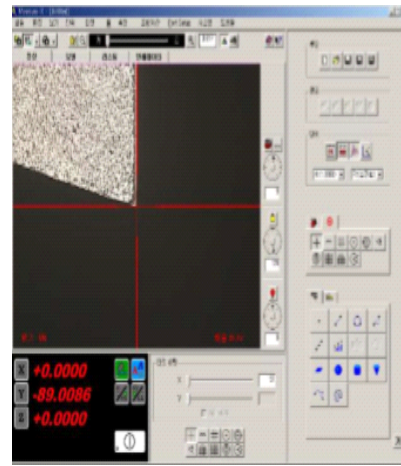
제작된 혼 안테나의 방사패턴 측정결과는 [그림 2.2.5]와 [그림 2.2.6]과 같으며, 이득은 21.6 dBi, 3 dB 빔폭은 15° 정도로 모의실험 결과와 거의 유사한 특성을 보였다. 제작된 프로브 안테나와 혼 안테나를 사용하여 CATR 측정시스템의 균일장 특성 평가 시험을 수행한 결과는 다음 장에서 소개하고자 한다.



[그림 2.2.8] 제작된 혼 안테나 사진



[그림 2.2.9] 개구면 가로 측정

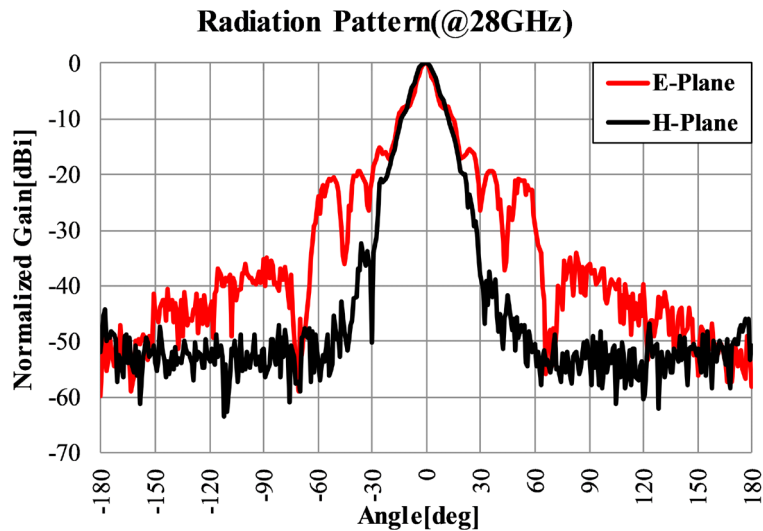


[그림 2.2.10] 개구면 세로 측정

<표 2.2.1> 가공 치수 측정결과

*측정 결과 (치수공차: $\pm 10\mu\text{m}$)

순	구분	설계치(mm)	측정치(mm)	공차(μm)	만족여부
1	개구면(가로)	12.7000	89.0086	+8.6	만족
2	개구면(세로)	6.3000	72.0076	+7.6	만족
3	전체길이	104.0000	192.0061	+6.1	만족
4	어댑터(가로)	22.4000	22.4068	+6.8	만족
5	어댑터(높이)	8.5000	8.5072	+7.2	만족



[그림 2.2.11] 혼 안테나의 E/H-Plane 방사패턴



제3장

CATR 시험장 유효성 평가방법 연구

제3장 CATR 시험장 유효성 평가방법 연구

제1절 CATR 시험장 평가방법 및 동향

3.1.1. 균일장(Quiet Zone) 평가방법

일반적으로 정확한 원역장 안테나 측정을 위해서 제일 중요한 것은 QZ내에 균일한 평면파를 만드는 것이다. 이상적인 상황에서는 균일한 평면파가 형성되어 있는 QZ내에 측정대상 안테나(AUT)를 거치하여 AUT의 각 평면파 입사 방향에 대응하여 AUT를 360도 전 방향 회전시키면서 각각 측정된다. 이러한 이상적 평면파 조건을 위해서는 AUT와 급전 안테나가 무한히 떨어져 있어야 한다. 하지만 이는 현실적으로 어려워 비이상적 평면파의 측정 정확도에 대한 영향이 허용되는 범위 안에서 짧은 거리로 결정된다.

대표적인 방법으로는 CATR 챔버가 이용된다. 이 CATR 챔버는 급전 안테나에서 조사된 구면파로부터 파라볼릭 반사경을 거쳐 평면파 변환이 가능하기 때문에 시험장 급전과 AUT 사이의 거리가 훨씬 더 짧게 된다.

파라볼릭 반사경에 반사된 파들은 QZ까지 다른 길이의 경로를 이동하여 시험장 축과 90도를 이루는 횡단면에서 동위상이 만들어진다. 단지 위상만 변환이 되며 급전 안테나의 진폭 테이퍼는 QZ까지 영향을 받지 않고 진행한다.

따라서 이러한 형태의 안테나 시험장에서 진폭 테이퍼를 측정하는 것이 중요한 요인이 된다. 특히, CATR 챔버 실내는 비록 흡수체로 덮여 있지만, 전자파를 차폐하기 위해 인위적으로 급속으로 둘러싸여 있기 때문에 추가적인 반사와 특성으로 인해 측정 정확도를 악화시킨다. 이 반사파들은 시험결과의 왜곡을 초래할 수 있는 진폭 리플(ripple)과 위상 리플을 발생시킨다.

또한, 평면파를 주사하기 위해 사용된 파라볼릭 반사경 edge에서의 회절로 인해 추가적인 진폭과 위상 리플의 원인이 된다. 반사경의 edge 회절을 최소화하기 위해 반사경 끝 쪽을 구부리는(rolled edge) 방식과 톱니파 모양(serrated edge) 방식을 사용하여 추가적인 리플 특성을 최소화한다.

3.1.1.1. 정재파비(Voltage Standing Wave Ratio, VSWR)

안테나 시험장 내에서 주어진 방향과 종/횡 방향에서의 최대 반사도 측정을 위해서 주로 정재파비(Voltage Standing Wave Ratio, VSWR) 방법이 사용된다. 간단하지만 유용한 이 측정법은 안테나 시험장 품질을 평가할 수 있다. VSWR 측정을 위해서는 AZ 포지셔너 위에 수직과 수평으로 프로브 혹은 혼 안테나를 이동시키면서 데이터를 수집하기 위한 2D 스캐너가 사용된다. 다른

3.1.1.2. Field-probing

Field-probing 방식을 사용하면 시험장 QZ에 대한 이차원 분석으로 좀 더 자세한 진폭과 위상의 공간적 분포를 분석할 수 있다. 이 방법은 주로 평면파가 형성되는 균일장 영역에서의 진폭 및 위상의 테이퍼와 리플의 영향을 분석한다.

3.1.1.3. Quiet Zone Spherical Near-Field Scanning

전통적인 field probing으로 획득한 정보의 불완전성을 극복하기 위하여 QZ 3차원 구면 주사법이 사용될 수 있다. 이 방법은 QZ를 둘러싼 폐구면에 대해서 진폭과 위상을 측정한다.

구면 근역장 안테나 측정과 유사하게 QZ내에서의 전자기장이 직교 구형 고조파의 합으로 표현될 수 있으며 이 직교하는 구형 고조파의 가중값들이 QZ 내부의 전자기장을 완벽하게 표현할 수 있다. 추가적으로 측정에 사용한 프로브의 영향을 보정할 수도 있다.

이 정보를 이용하여 이차원 field probing 데이터를 emulate할 수 있다. 기존의 중요 요소인 테이퍼와 리플을 계산할 수 있지만, 이 방식은 수학적으로 매우 복잡하고 어려운 계산과정이 필요하여 잘 사용되지는 않는다.

3.1.1.3. 기타 방법

기타 방법으로는 패턴 비교법, QZ 데이터 푸리에 분석법, 시간영역 분석법,

통계 분석법 (Ruze 법) 등이 있다.

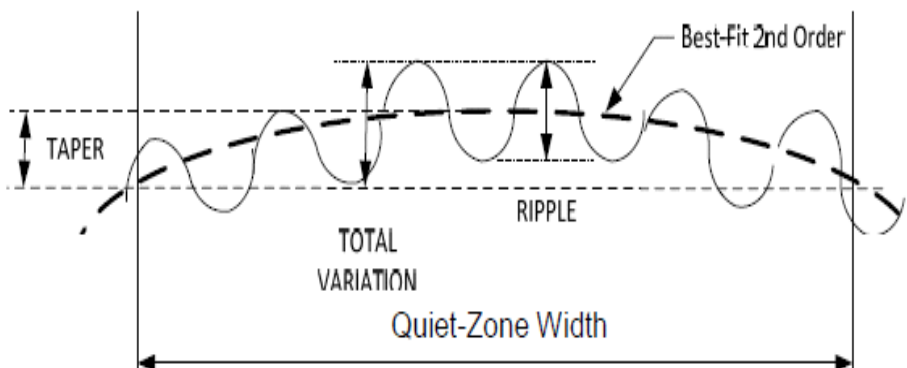
3.1.2 CATR quiet zone 공통 규격

주어진 point-source CATR에서 측정가능한 안테나의 최대크기를 결정하기 위하여 QZ의 균일장 특성(1 dB 이하의 진폭 taper와 ± 0.5 dB 이내의 진폭 ripple과 ± 5 도 이내의 위상 ripple)이 사용되어오고 있다. 이러한 CATR QZ 특성에 대한 정의가 학계와 산업계에서 범용표준으로 사용되어오고 있다.

이 point-source CATR은 파라볼릭 반사경을 이용하여 반사경의 초점에 위치한 급전 안테나에서 방사되는 quasi-구면파를 pseudo-평면파로 변환시키는 효과를 가지는 급전 안테나의 이미지를 원거리에 투영하여 pseudo-평면파가 측정대상 안테나를 조사하여 아주 짧은 거리에서 원역장 측정이 가능하도록 균일장을 형성한다.

이 pseudo-평면파의 품질을 기술하는 통상 사용되는 평가지표는 1 dB 진폭 taper, ± 0.5 dB 진폭 ripple과 ± 5 도의 위상 ripple이다. 진폭 taper는 QZ의 한 cut에서 측정된 data를 최소 자승법을 사용하여 2차 다항식으로 피팅(fitting)하여 dB로 표현한다. 진폭 ripple은 이렇게 구한 이차 다항식에 대한 변화량을 구하여 역시 dB로 표현한다.

위상 ripple은 QZ내에서 직선(일차 함수)로 best-fit한 후 이에 대한 변화량을 도(degree)단위로 표현한다.



[그림 3.1.1] QZ에서의 진폭 테이퍼와 리플 규격 도시

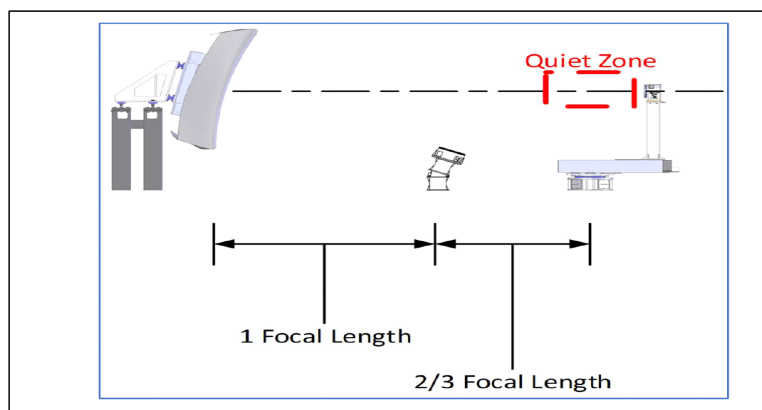
이 선형 cut들은 통상적으로 수평, 수직 cut 또는 직교좌표축 cut으로 CATR 축인 z 축의 여러 지점에서 반복하여 구성된다. 대개 원통형을 이루며 이러한 규정을 만족시키는 최대 크기가 CATR의 QZ의 크기를 결정한다.

[그림 3.1.1]은 진폭 taper와 진폭 ripple을 보여주고 있으며, 위상 ripple은 taper 없는(일차 직선함수) 진폭 ripple과 유사하게 표현된다. 이러한 원역장 특징은 주로 선형모터를 사용하여 수평방향으로 프로브를 이동시켜 QZ의 폭(width) 범위를 스캔할 수 있는 평탄도 측정장치로 측정·분석이 가능하다.

3.1.3. CATR Quiet Zone 깊이 변동

CATR은 광학시스템 초점에 놓여진 급전 안테나로 여기되는 하나 또는 두 개의 큰 파라볼릭 반사경으로 구성된다. 이 CATR 시스템은 어떤 영역에서의 전자기장 품질이 진폭 테이퍼, 진폭 ripple, 위상 변동과 교차편파 격리도로 표현되는 규정된 특성을 만족하는 Quiet Zone(QZ)을 지정된 거리 구간(깊이, length)에서 만족한다.

대개 이 규격은 이 QZ 전체 구간에 대하여 같은 값을 적용한다. [그림 3.1.2]는 단일 반사경 중앙 급전 CATR의 통상적인 layout을 보여준다.



[그림 3.1.2] 중앙급전 단일 반사경을 갖는 CATR 구조

CATR의 급전은 offset 급전 파라볼릭 반사경의 정점(vertex)으로부터 한 초점 거리에 있으며, QZ의 중심은 축 방향으로 통상 급전 뒤 2/3 내지 1 초점거리에

놓여진다. QZ 유효성 검증 시험은 주로 field probe 방법으로 측정하는데, 통상 측정 data set은 QZ내에서 하나 이상의 축 방향 위치에서 급전한 두 편파(수평/수직)에 대하여 수평면 cut 및 수직 cut들에서 얻어진다.

만약 시험장이 QZ 전영역(시험장 축방향)을 포함할 수 있는 충분히 긴 slide나 offset 팔이 있다면 통상 QZ의 전면, 중앙 및 후면에서 field 프로브 cut set을 측정한다. 이러한 축 방향 움직임을 위한 slide나 offset arm이 없는 시험장에서는 QZ의 중앙에서만 field probe cut을 측정한다. 시험장 축 방향에 따른 QZ의 변동은 통상적으로는 규정되는 성능지표가 아니었기 때문에 축 방향에 따라 세밀한 증분 위치들에서 많은 cut을 수행하는 것은 대개 시간적으로 불가능하다.

따라서 측정에 많은 시간을 들이는 대신 QZ 축 방향에 따른 전자기장 특성 변동을 예측할 필요가 있으며 이 축 방향 변동을 정확하게 예측하는 도구가 QZ 특성 예측 및 관련 특성 분석에 도움을 줄 수 있다.

제 2 절 CATR 시험장 적합성 평가 및 분석

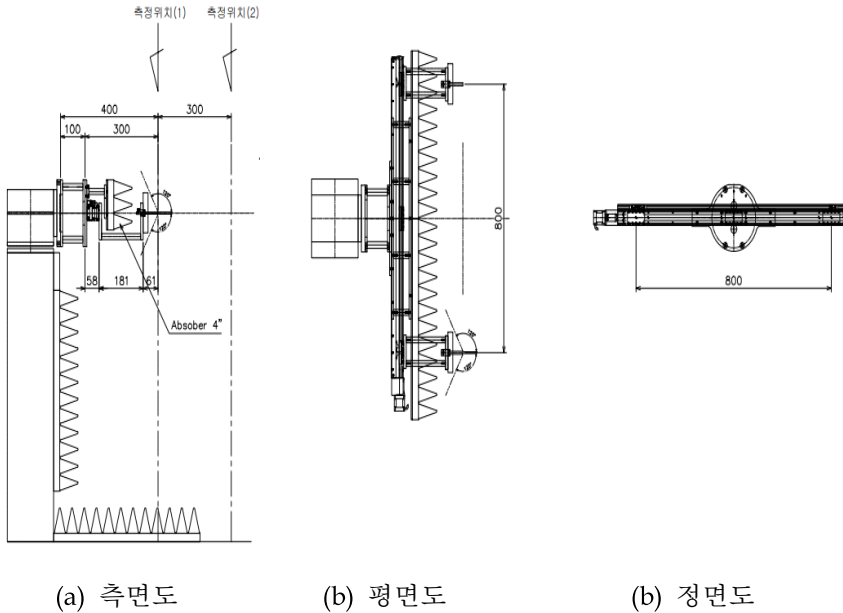
3.2.1. CATR QZ 평탄도 측정장치

CATR 시험장 적합성 평가 시험·분석에 앞서, CATR QZ 평탄도 측정을 위해 자체 개발한 평탄도 측정장치를 [그림 3.2.1]과 [그림 3.2.2]에 소개한다. 먼저 [그림 3.1.3] a는 평탄도 측정장치를 AUT 포지셔너에 거치한 모습을 보여주고 있으며, 그림 b, c는 평면도와 정면도를 나타낸다. 평탄도 측정 장치는 기존에 구축된 CATR 챔버의 AUT 포지셔너에 부착하여 활용할 수 있도록 설계 제작되었으며, 리니어 모터를 사용하여 수평축(좌/우로, ρ 방향)으로 최대 $-400\text{ mm} \sim +400\text{ mm}$ 로 총 800 mm 를 스캔할 수 있으며, Φ 축은 기존 AUT 포지셔너를 사용하여 360° 회전 가능하다.

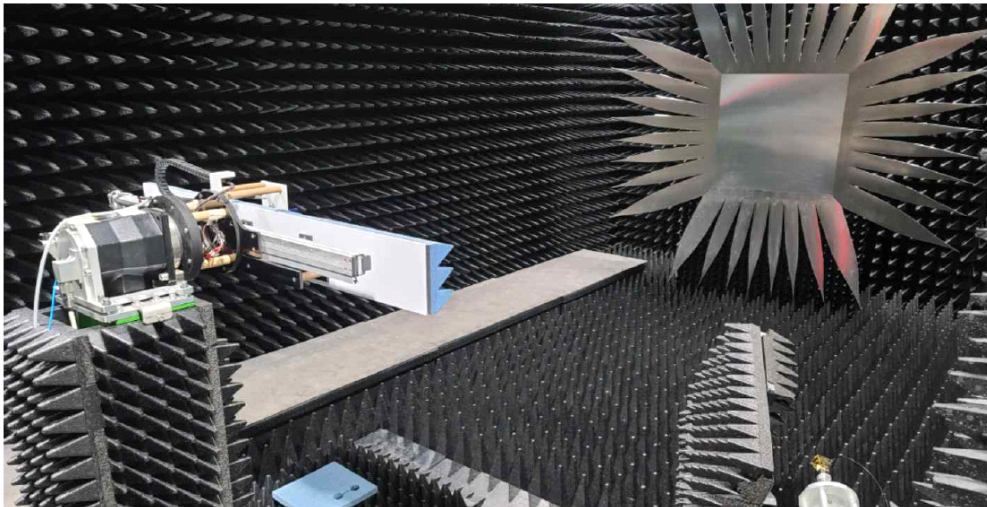
또한 평탄도 측정장치의 금속 부분이 전파 반사에 의한 신호 왜곡 최소화를 위해 흡수체를 부착하였으며, 가장 앞 단에 프로브 또는 혼 안테나의 개구면만이 파라볼릭 반사경을 조준할 수 있도록 하였다.

[그림 3.1.2]는 실제 제작하여 CATR 챔버 내에 설치한 평탄도 측정장치 보여

주고 있으며, 실제 해당 장치를 설치할 때는 수평 및 앞/뒤로 기울어짐이 없도록 정확하게 0도로 맞추는 것이 중요하다.



[그림 3.2.1] CATR 평탄도 측정장치



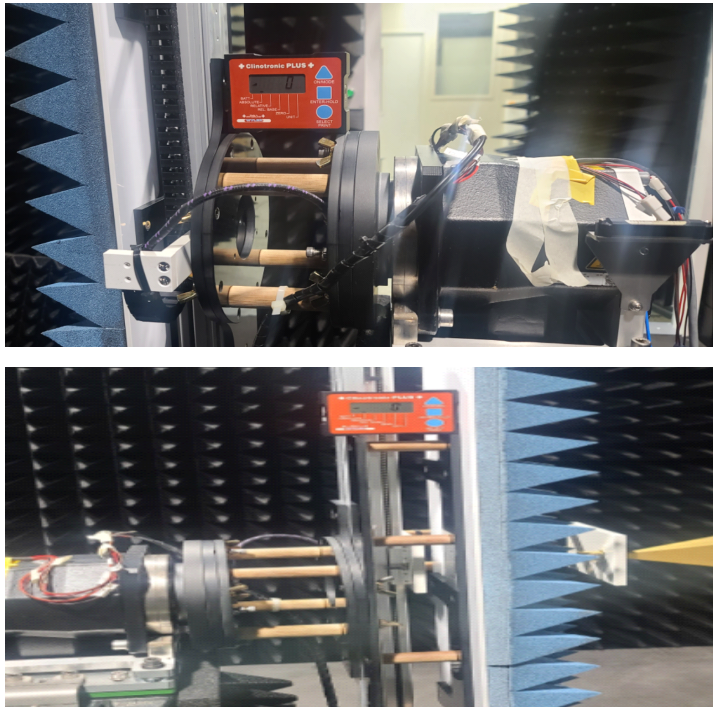
[그림 3.2.2] CATR 챔버 내에 설치된 평탄도 측정장치

3.2.2. CATR QZ 특성 측정 및 결과 분석

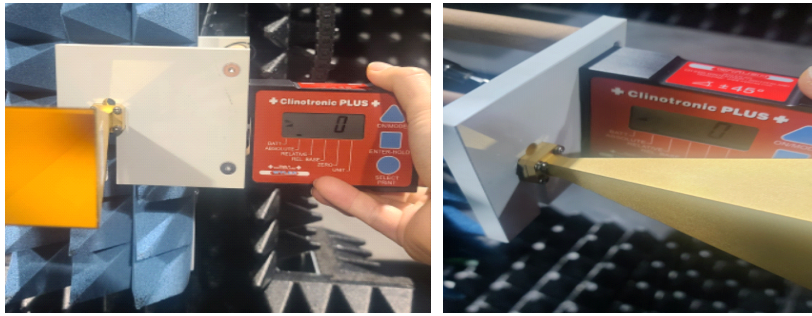
다음은 이천센터 사후관리과에서 구축한 CATR 챔버의 QZ 평탄도 측정 및 분석을 통해 시험장 유효성 검증을 수행하고자 한다. 측정에 앞서 앞에서 설명한 바와 같이, AUT 포지셔너와 여기에 거치(부착)되는 평탄도 측정장치의 수평 및 앞/뒤 기울어짐이 없도록 설치되었는지 점검해야 한다.

왜냐하면 구축한 planar polar 측정장치는 radial-angle scan 방법을 사용하기 때문에 측에서 최소 0.2도만 기울어져도 반지름 400 mm 최외각에서는 위상 오차가 심각하게 영향을 받기 때문이다.

따라서 [그림 3.2.3]와 같이 AUT 포지셔너에 거치된 평탄도 측정장치의 여러 조립 부분에서 수평이 틀어짐이 없는지(모두 0도) 확인하였다.



(a)

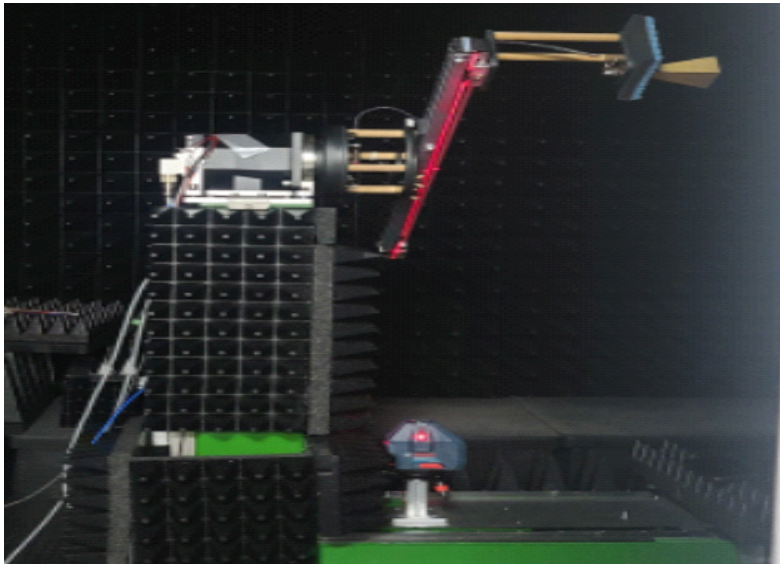


(b)

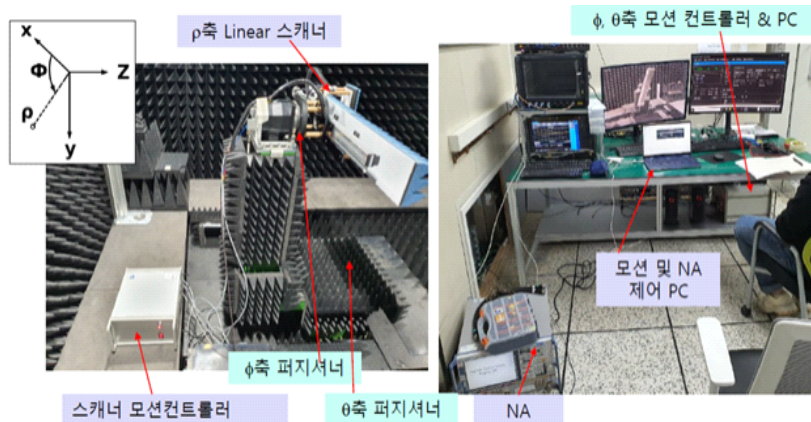
[그림 3.2.3] 평탄도 측정장치 수평조절

평탄도 측정장치의 수평을 확인한 이후, 앞/뒤 기울어짐이 없는지 확인하기 위해 [그림 3.2.4]에서 보는 바와 같이, 리니어 모터의 금속 수평 축에 Line Laser를 정렬시키고 AUT 포지셔너를 ϕ 축으로 360도 회전시켜 앞/뒤 기울어짐이 없는지 확인하였다.

전파시험인증센터에서는 아쉽게도 3D 레이저 트래커를 보유하고 있지 않아, 앞에서 설명한 바와 같이 기구적 정렬을 완료하고 전기적 정렬은 실제 측정을 통해 확인이 필요하다.



[그림 3.2.4] 평탄도 측정장치 앞/뒤 기울어짐 정렬 점검



[그림 3.2.5] 평탄도 측정장치 및 측정장비

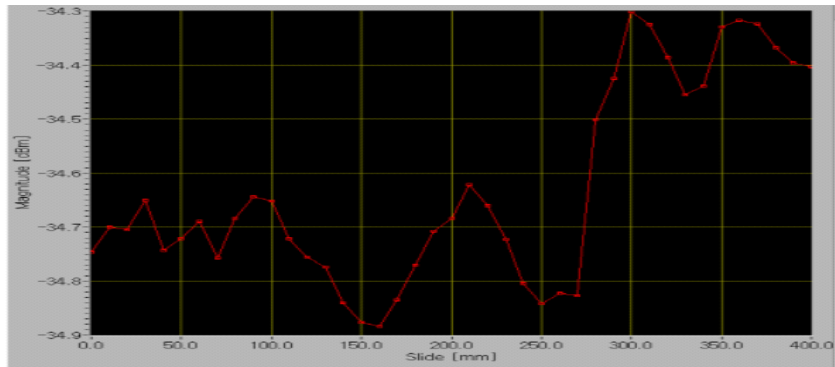
다음은 탄도 측정장치의 전기적 정렬을 확인하기 위한 측정을 수행한다. 측정에 앞서 [그림 3.2.5]에서 평탄도 측정장치 및 측정장비, 관련 제어장치 구성에 대해 소개하고자 한다.

먼저 ϕ , θ 축 포지셔너는 기존에 구축된 CATR 모션 컨트롤러와 운용 PC로 구동하며, QZ 평탄도 측정장치(스캐너)는 스캐너 전용 모션 컨트롤러, 네트워크 분석기, 제어 PC(노트북)에 연결하여 구동된다. θ 축은 0° 로 고정된 채로 QZ 스캐너가 부착되었으며, ρ 축 -400 mm 부터 $+400\text{ mm}$ 까지 총 800 mm 거리를 주어진 간격(Step)에 따라 이동하며 데이터를 획득할 수 있다.

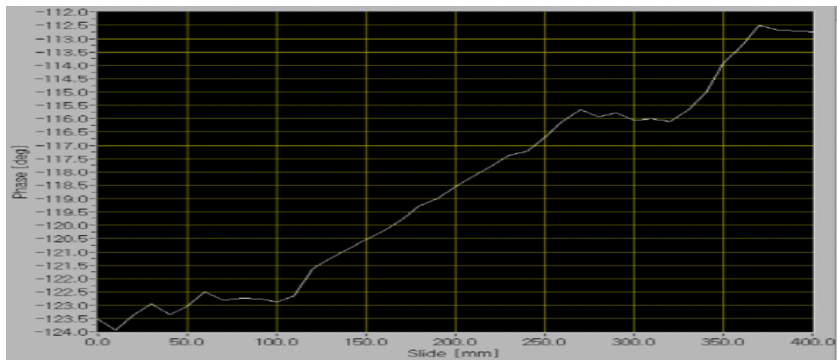
이때 QZ 전체 평면을 스캔하기 위해 ϕ 축 포지셔너를 $0^\circ \sim 180^\circ$ 까지 주어진 각도(degree)로 이동시키고에 ρ 축($-400\text{ mm} \sim +400\text{ mm}$)을 이동하면서 정해진 지점에서의 데이터 수집이 가능하다.

평탄도 측정장치의 전기적 정렬을 확인하기 위해 기존 AUT 포지셔너의 ϕ 축을 0° , 90° , 180° , 270° 4방향으로 위치시키고 ρ 축을 $-400\text{ mm} \sim +400\text{ mm}$ 까지 10 mm 간격으로 이동시키면서 각 지점에서의 진폭(magnitude)과 위상(phase) 특성을 확인하였다.

특히, 측정장치를 미세조정하여 [그림 3.2.6] ~ [그림 3.2.9]와 같이 4방향에서 진폭은 1 dB 이내, 위상은 22.5° 이내로 만족할 때까지 정렬을 반복하였다.

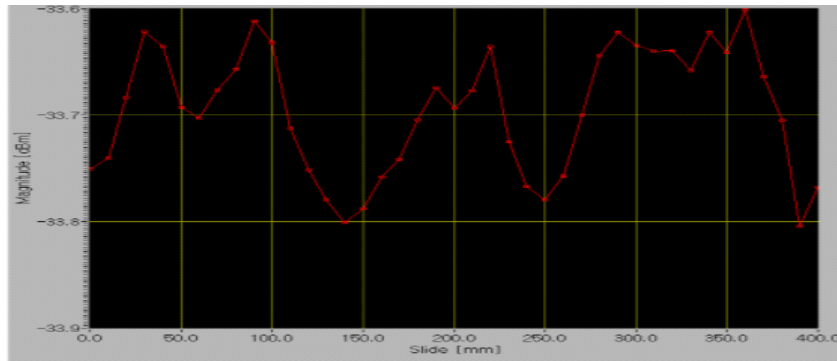


(a) 진폭(0.6 dB 이하)

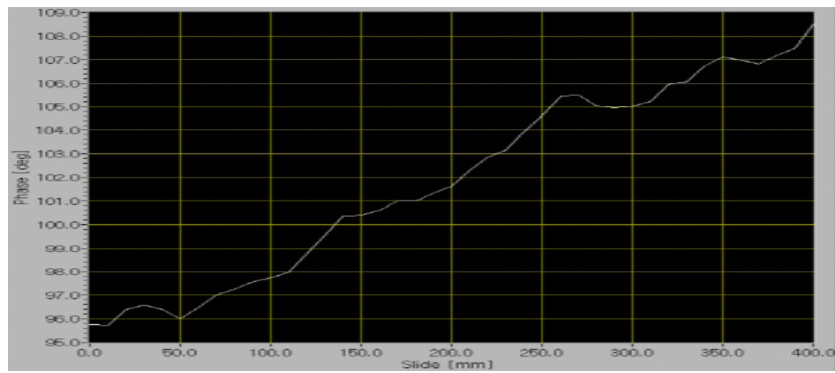


(b) 위상(11.5° 이하)

[그림 3.2.6] 평탄도 측정장치 $\phi = 0^\circ$ 일 때 진폭 및 위상

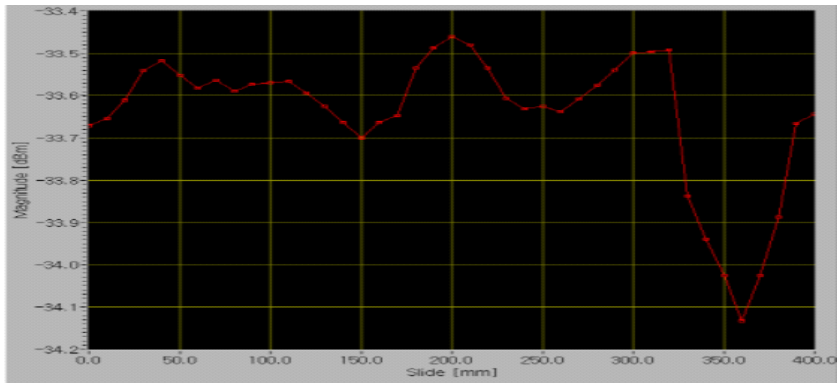


(a) 진폭(0.81 dB 이하)

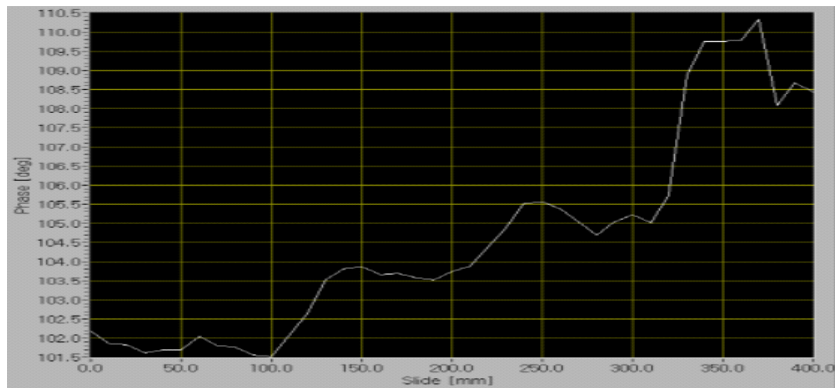


(b) 위상(13° 이하)

[그림 3.2.7] 평탄도 측정장치 $\phi = 90^\circ$ 일 때 진폭 및 위상

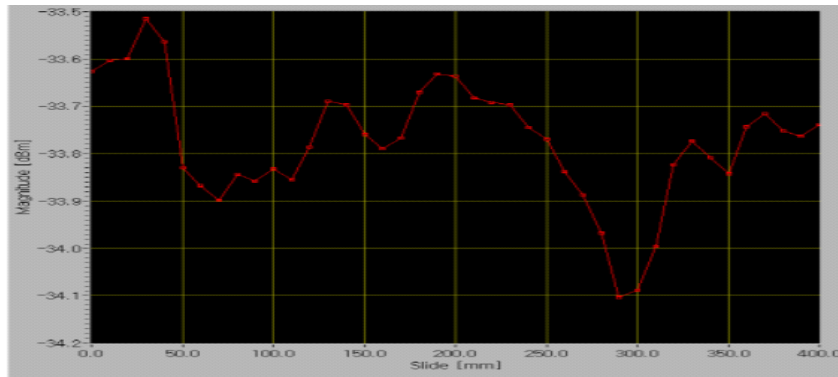


(a) 진폭(0.88 dB 이하)

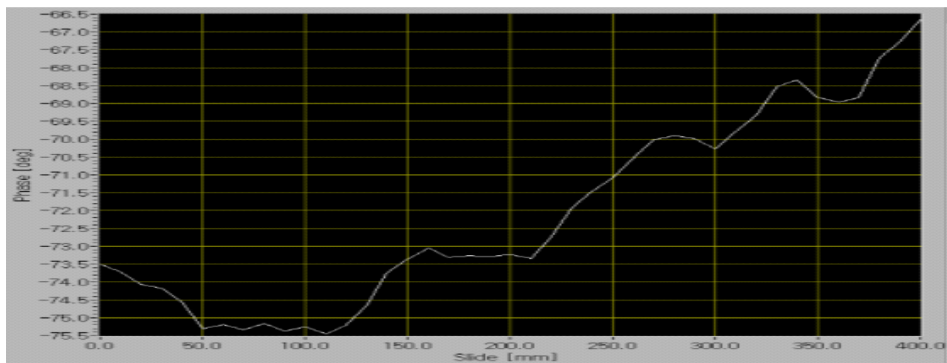


(b) 위상(8.5° 이하)

[그림 3.2.8] 평탄도 측정장치 $\phi = 180^\circ$ 일 때 진폭 및 위상



(a) 진폭(0.5 dB 이하)



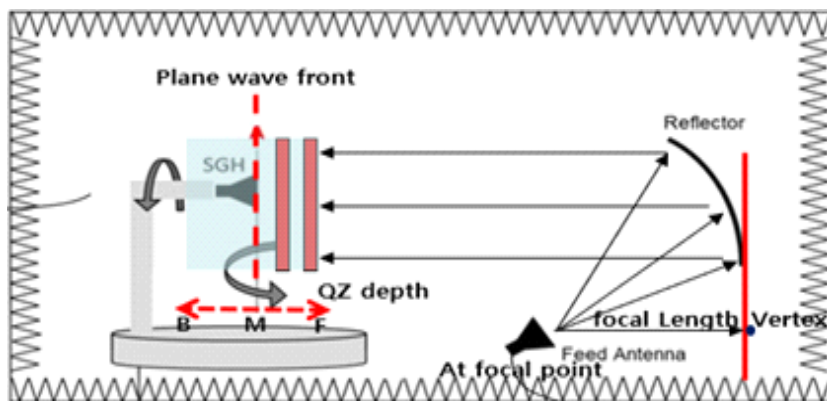
(b) 위상(10° 이하)

[그림 3.2.9] 평탄도 측정장치 $\phi = 270^\circ$ 일 때 진폭 및 위상

위 그림 특성에서 보여주는 것처럼 ϕ 축 4방향(0° , 90° , 180° , 270°)에서 진폭 및 위상 특성이 만족하면 전기적 정렬이 완료되었다고 가정하고, planar polar 방식의 평탄도 측정장치를 ϕ 축으로 180° 까지 회전시키는 radial-angle scan 방법으로 QZ 예상 횡단면을 측정·분석하였다.

횡단면 (xy 축) ρ 는 $-400\text{ mm} \sim +400\text{ mm}$ 까지 스윕(sweep) 하였으며, z방향(QZ 깊이, depth)으로는 [그림 3.2.10]에서 보는 바와 같이 200 mm 간격으로 후면(back), 중간면(middle), 앞면(front) 3개의 횡단면에 대한 균일도를 측정 분석하였다.

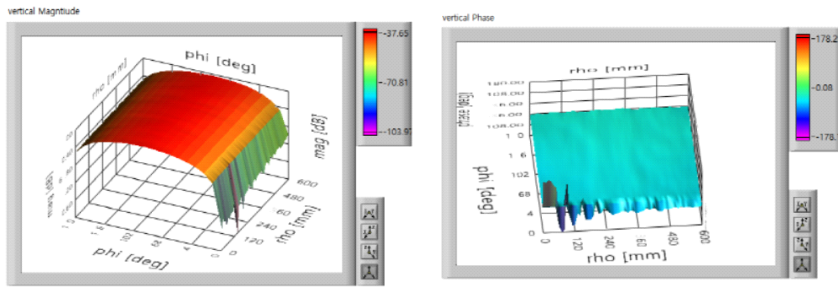
여기서 QZ 횡단면 균일도를 평가하기 위해서 수직/수평 편파로 두 번 측정한 후 각각의 결과를 합성하여 진폭 및 위상의 균일도를 분석하였다.



[그림 3.2.10] CATR QZ 측정 횡단면

먼저 후면 QZ 횡단면 측정결과는 [그림 3.2.11] ~ [그림 3.2.12]에 도시하였으며, 수직/수평 편파에 대한 측정결과는 ϕ 축 회전에 따른 안테나의 Co-pol에서 x-pol로 수신 특성 변화를 보여주고 있다.

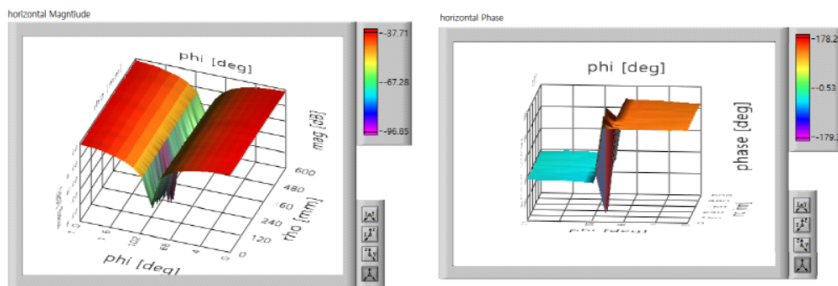
또한, 두 신호의 합은 [그림 3.2.13]에서 보여주는 바와 같이 진폭은 $-37.65\text{ dBm} \sim -38.41\text{ dBm}$ 범위, 즉 0.76 dB 이내로 동작하며, 위상은 $7.48^\circ \sim 11.68^\circ$ 범위로 약 19.16° 이내에서 동작하는 것으로 확인되었다.



(a) 진폭

(b) 위상

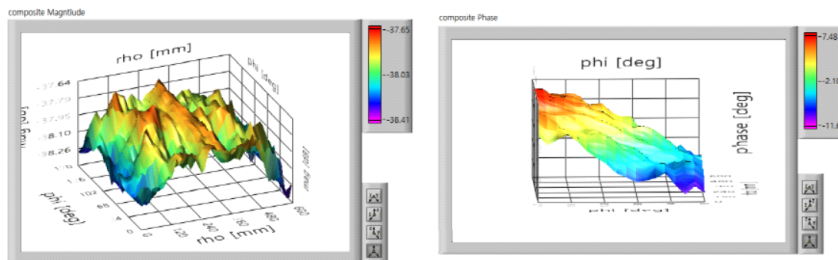
[그림 3.2.11] CATR QZ 측정 횡단면(후면, 수직 편파)



(a) 진폭

(b) 위상

[그림 3.2.12] CATR QZ 측정 횡단면(후면, 수평 편파)



(a) 진폭(0.76 dB 이내)

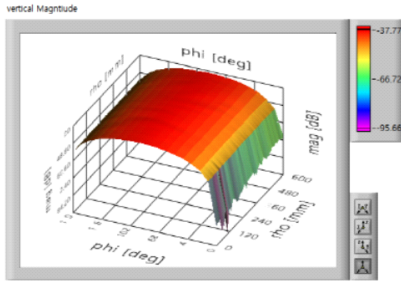
(b) 위상(19.16°이내)

[그림 3.2.13] CATR QZ 측정결과(후면)

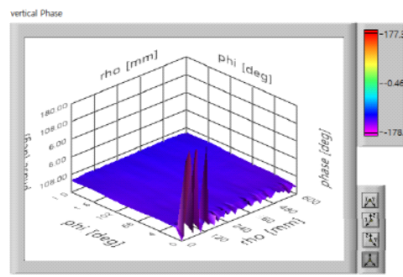
중간면 QZ 횡단면 측정결과도 QZ 후면과 마찬가지로, 수직/수평 편파에 대한 ϕ 축 회전에 따른 안테나의 Co-pol에서 x-pol로 수신 특성변화를 [그림 3.2.14] ~ [그림 3.2.15]와 같이 보여주고 있다.

또한, 두 신호의 합은 [그림 3.2.16]에서 보여주는 바와 같이 진폭은 -37.43

dBm ~ -38.37 dBm 범위, 즉 0.94 dB 이내로 동작하며, 위상은 $7.16^\circ \sim 12.04^\circ$ 범위로 약 19.2° 이내에서 동작하는 것으로 확인되었다.

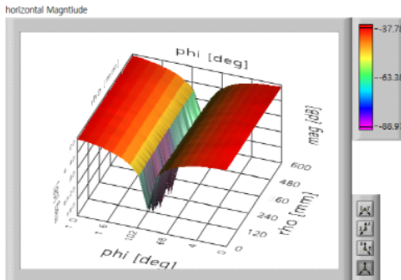


(a) 진폭

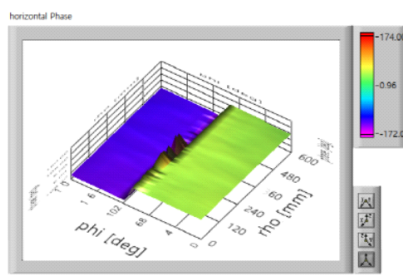


(b) 위상

[그림 3.2.14] CATR QZ 측정 횡단면(중간면, 수직 편파)

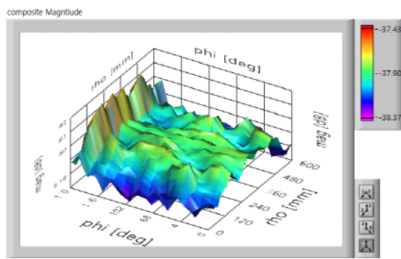


(a) 진폭

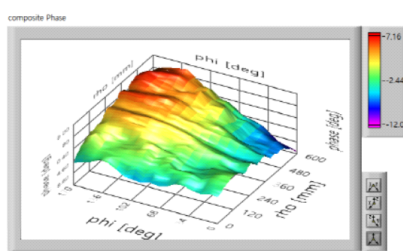


(b) 위상

[그림 3.2.15] CATR QZ 측정 횡단면(중간면, 수평 편파)



(a) 진폭(0.76 dB 이내)

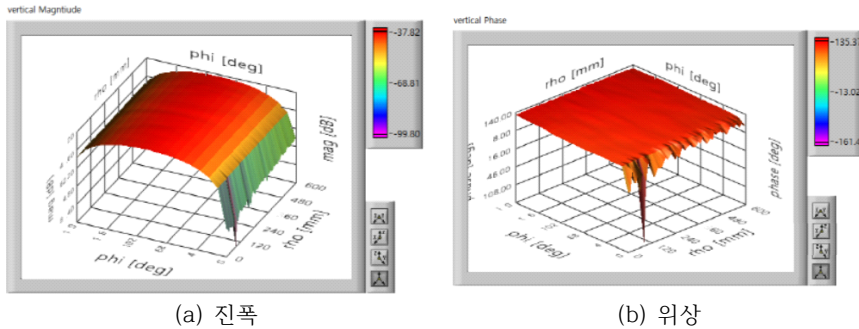


(b) 위상(19.16° 이내)

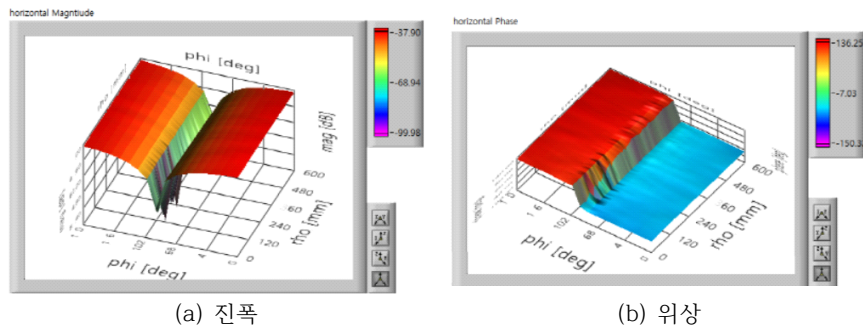
[그림 3.2.16] CATR QZ 측정결과(중간면)

앞면 QZ 횡단면 측정결과도 앞의 두 결과와 마찬가지로, 수직/수평 편파에 대한 ϕ 축 회전에 따른 안테나의 Co-pol에서 x-pol로 수신 특성 변화를 [그림 3.2.17] ~ [그림 3.2.18]와 같이 보여주고 있다.

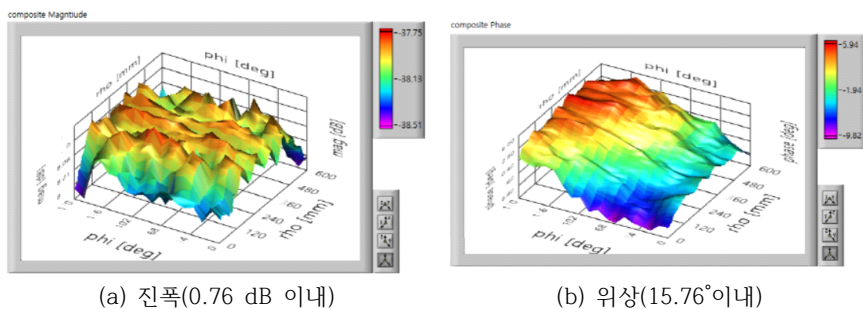
또한, 두 신호의 합은 [그림 3.2.19]에서 보여주는 바와 같이 진폭은 -37.75 dBm ~ -38.51 dBm 범위, 즉 0.94 dB 이내로 동작하며, 위상은 $5.82^\circ \sim -9.82^\circ$ 범위로 약 15.76° 이내에서 동작하는 것으로 확인되었다.



[그림 3.2.17] CATR QZ 측정 횡단면(앞면, 수직 편파)



[그림 3.2.18] CATR QZ 측정 횡단면(앞면, 수평 편파)



[그림 3.2.19] CATR QZ 측정결과(앞면)

위 결과에서 확인된 바와 같이, 이천센터에서 구축한 CATR 챔버는 지름 60 cm x 깊이 40 cm 범위에서 원통형으로 진폭 1 dB이내, 위상 22.5°이내 범위에서 QZ 특성이 확보되었음을 검증하였다.

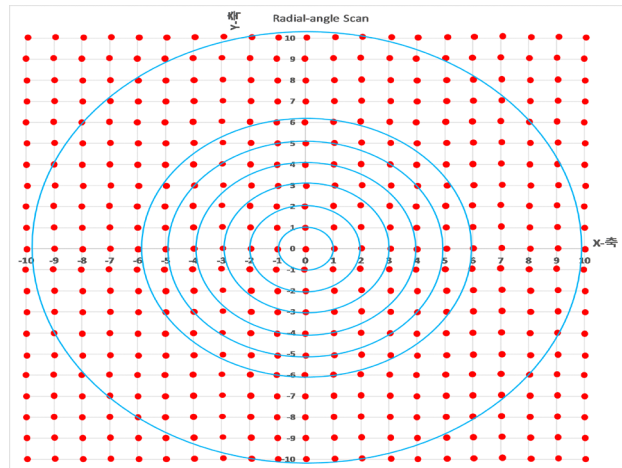
하지만, 이렇게 z-축 3개 면에서 측정한 QZ의 특성을 이용하여 측정대상 안테나의 특성 측정에 미치는 영향을 평가하기 위해서는 평가대상 안테나의 방사소자 위치에 대하여 field 분포를 알아야 한다.

이를 위해서는 z-축에 대한 3개의 횡단면에서의 좌표(x,y)에서의 field 분포를 QZ 평가지표로부터 예측해 평가할 계획이다. 또한, 실제 설계된 챔버는 QZ 영역이 80 cm³ 이지만 AUT 포지셔너와 연결하는 측정장치의 어댑터 길이의 한계로 40 cm까지 검증을 완료하지 못했다. 향후 어댑터를 추가 제작하여 QZ 영역을 80 cm 범위까지 앞에서 설명한 동일한 측정방식으로 검증할 계획이다.

본 연구에서 추가적으로 검토해야 할 사항으로, 시험장 유효성 평가를 위해서는 [그림 3.2.20]과 같이 CATR QZ 축의 한 X-Y면에서의 등간격 격자점에서의 field 분포를 측정하여 해당 평면의 각 X, Y cut에서의 QZ의 특성을 평가할 수 있도록 하는 것이 필요하다.

하지만, 제조사에서 구축해 놓은 측정장치(시스템)를 최대한 보존하면서 QZ 특성 유효성을 평가하기 위해 angle(roll) 방향으로 등-간격 각도로, radial 방향으로 등-간격으로 scan하는 구조로 구축하였다.

이 측정방식은 매우 단순하여 측정이 수월하지만 주로 scan영역 원점 부근에서 oversampling이 되고 최외각 radial에서는 undersampling이 되는 문제를 가지게 된다. x-y면 scan에서 일반적으로 사용하는 반파장(half wave-length) 간격에 가까이하면서 scan 구조도 비교적 간단히 할 수 있는 방법이 필요하다.



[그림 3.2.20] 사각 격자에 근접한 radial-angle scan 방법

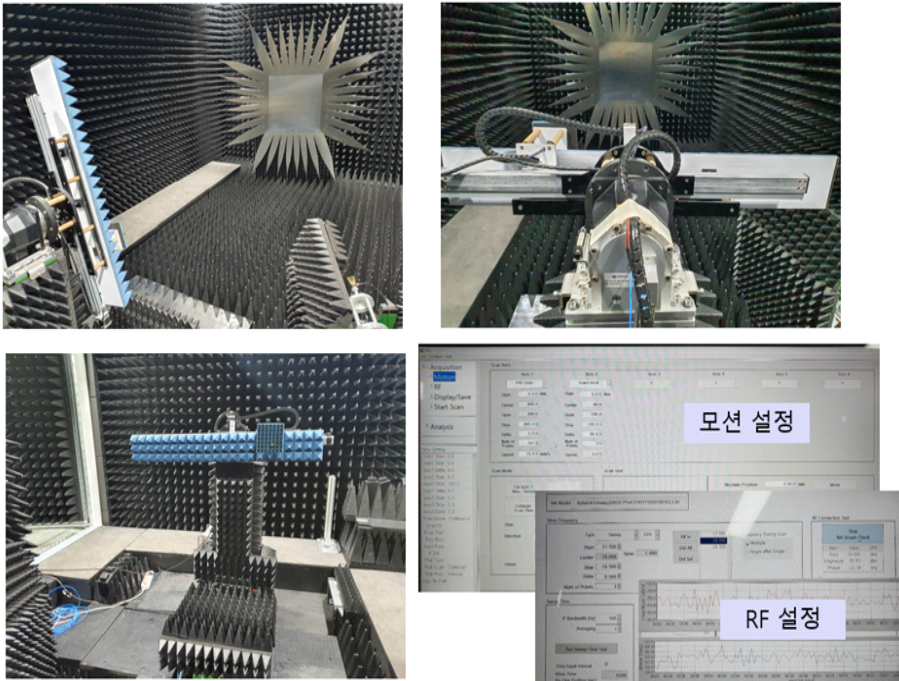
또한, CATR 보유기관의 QZ 성능 특성 상호비교를 수행하기 위해서는 현재 이천센터에서 보유중인 plane-polar 스캐너를 이용하여 CATR QZ 횡단면에서의 진폭 및 위상분포를 어떤 방식(등가적인 x-y 스캔 또는 radial-angle 스캔)으로 할 것인지, QZ의 주요성능 지표 중 무엇을 추출하고, QZ 내에서 어떻게 전반적인 전자기장 분포를 모델링하고, 스캐너의 기하학적 구조에 기인하는 측정 오차를 보정하는 방법, 스캔 방식에 따라 수평/수직 측정 성분을 합성하는 방법 등에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

제 3 절 CATR 시험장 평가 절차

3.3.1 CART 평탄도 측정장치 및 시스템 운용 절차

본 절에서는 CATR 챔버의 균일장 측정을 위해 구축한 측정장치 및 시스템 운용 등에 대한 절차를 소개하고자 한다.

[그림 3.3.1]은 CATR 챔버 AUT 포지셔너에 부착된 평탄도 측정장치 및 관련 운용 프로그램 전반에 대한 사진을 나타내었다.



[그림 3.3.1] 평탄도 측정장치 거치 및 운용프로그램 사진

다음은 측정에 앞서 준비해야 할 RF 측정시스템 및 관련 공구 등 부대물품에 대해 조사하고 <표 3.3.1>과 <표 3.3.2>에 정리하였다.

<표 3.3.1> RF 측정시스템

순번	품 명	규 격	수량	제 작 사
1	Network Analyzer	ZVA50	1	R & S
2	평탄도 측정장치	-400 mm ~ +400 mm or -200 mm ~ +200 mm	각 1	자체제작
3	평탄도 측정장치 모터 제어기		1	
4	프로그램 운용 노트북	삼성 sens	1	
5	RF Cable(Tx, Rx)	3 m	2	
6	RF Cable(Tx 안테나 연결)	50 cm	1	
7	혼 안테나(Tx)	26.5 GHz ~ 40 GHz	1	자체제작
8	코러게이트 혼(Rx)	26.5 GHz ~ 40 GHz	1	아시슬
9	PA, LNA	26.5 GHz ~ 40 GHz	각1	

※ 측정 시작 1시간 전부터 장비 예열 진행

<표3.3.2> 공구 등 측정 부대물품

순번	품 명	규 격	수량	제 작 사
1	육각 렌치 세트		1	Eklind
2	토크렌치		1	R&S
3	adopter	2.4 mm(f) to 2.92 mm(f)	1	API
4	adopter	1.85 mm(f) to 2.92 mm(m)	4	API

3.3.1.1. CATR 시험장 평가를 위한 준비 절차

다음은 CATR QZ 유효성 평가를 위한 세부 절차에 대해 자세하게 소개하고자 한다. 먼저, 측정에 앞서 온/습도 등 측정환경에 대해 먼저 점검하고 측정시작 시간과 측정자를 기록한 후 다음 소개하는 절차에 따라 측정을 수행한다.

가. 장비 Set up

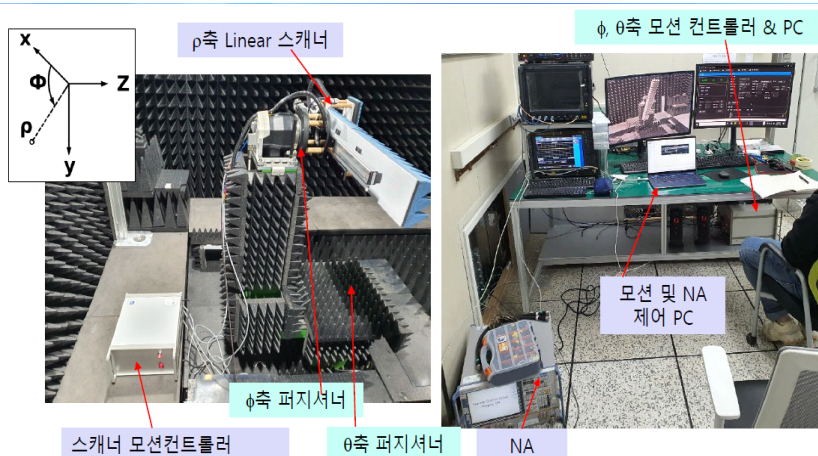
- ① 스펙트럼분석기(UXA) 전원 On



[그림 3.3.2] 스펙트럼분석기(UXA)

- ② 스캐너 모션 컨트롤러 전원 On
③ NA(네트워크분석기) On 이후 모션 컨트롤러 및 NA를 제어 PC로 제어할 수 있는지 사전에 확인

※ 본 과정은 운용 프로그램 절차에서 자세하게 설명



- ϕ , θ 축 퍼지셔너는 기존 모션컨트롤러와 PC로 구동
- Quiet-zone 평판도 스캐너는 모션컨트롤러, NA, PC로 구동됨
- 순서: θ 축 0도로 이동 \rightarrow ϕ 축 -90도로 이동 \rightarrow QZ scanner -400mm부터 +400mm까지 이동 및 데이터 획득 \rightarrow ϕ 축 $\Delta\phi$ 이동 \rightarrow \rightarrow ϕ 축 +90도 이동 \rightarrow QZ scanner 이동

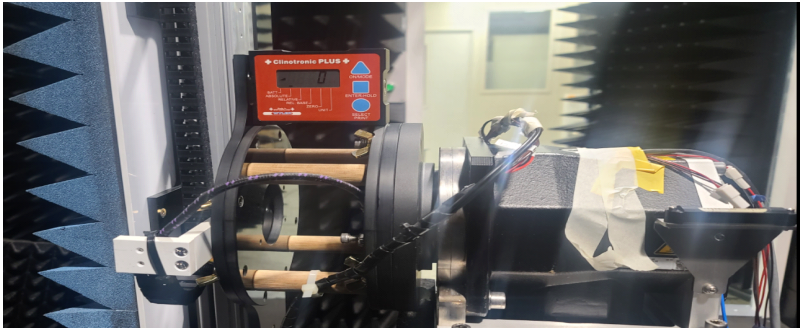
[그림 3.3.3] 평판도 측정장치 구동 및 데이터 수집

ϕ , θ 축 퍼지셔너는 기존에 구축된 CATR 모션컨트롤러와 운용 PC로 구동하며, QZ 평판도 스캐너는 스캐너 전용 모션컨트롤러, 네트워크 분석기, 제어 PC(노트북)에 연결하여 구동된다.

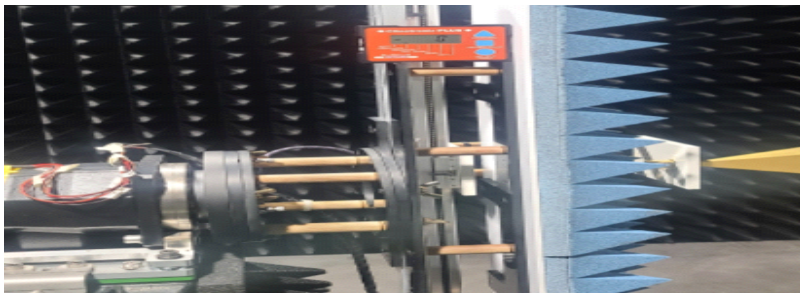
θ 축은 0° 로 고정시킨채로 QZ 스캐너가 부착되었으며, ρ 축 -400 mm 부터 +400 mm까지 총 800 mm 거리를 주어진 간격(Step)에 따라 이동하며 데이터를 획득한다.

이때 QZ 전체 평면을 스캔하기 위해 ϕ 축 퍼지셔너를 $0^\circ \sim 180^\circ$ 까지 주어진 각도(degree)로 이동시키고에 ρ 축(-400 mm ~ +400 mm) 스캔 및 데이터 수집을 반복

나. 평탄도 측정장치 거치



(a) 어답터 수평 확인



(b) 수직으로 거치 후 측정장치 수평 확인

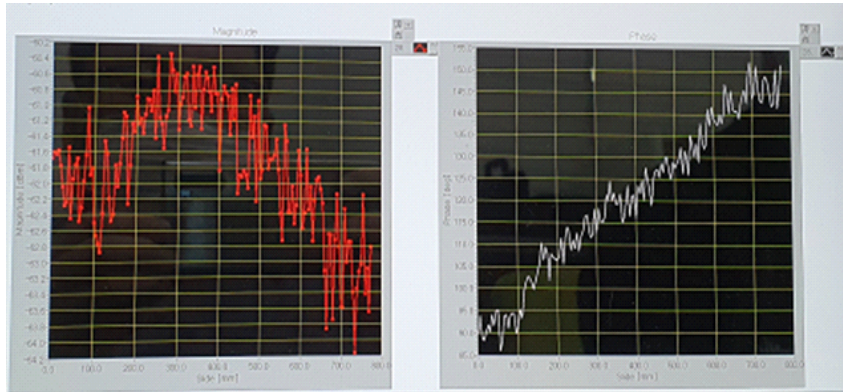


(c) 탐침용 안테나 장착 후 측정장치 수평조정

[그림 3.3.4] 평탄도 측정장치 거치 후 지점 별 수평확인

- ① CATR 챔버 Tx측에 자체 제작한 평탄도 측정장치를 거치
- ② 상하/좌우 대칭 수평(기울어짐 0°)을 고려하여 거치
- ③ 전기적 정렬은 실제 측정되는 위상값의 기울어짐 정도로 확인

※ 상하/좌우 기울어짐 정도는 1) ϕ 축을 90도 회전시킨 후 p축 상하(최대 -400 mm ~ +400 mm)로 이동하고, 2)p축 좌우(최대 -400 mm ~ +400 mm)이동 측정 후 위상 결과값 확인

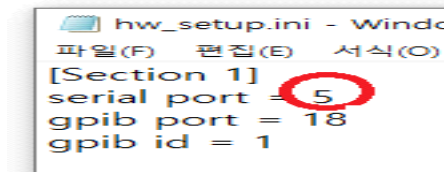


[그림 3.3.5] ρ 축에서 스캔한 진폭값(좌측), 위상값(우측) 예시

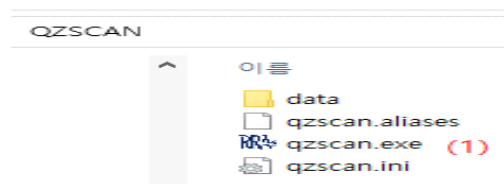
※ 측정장치의 기울어짐이 있을 시, 위 우측 그림처럼 위상값이 순차적으로 변하며(기울어짐), 미세튜닝 기구로 해결한다.

다. 평탄도 측정 운용프로그램 설정

① data 폴더의 hw_setup.ini 파일의 serial port 번호를 5로 설정

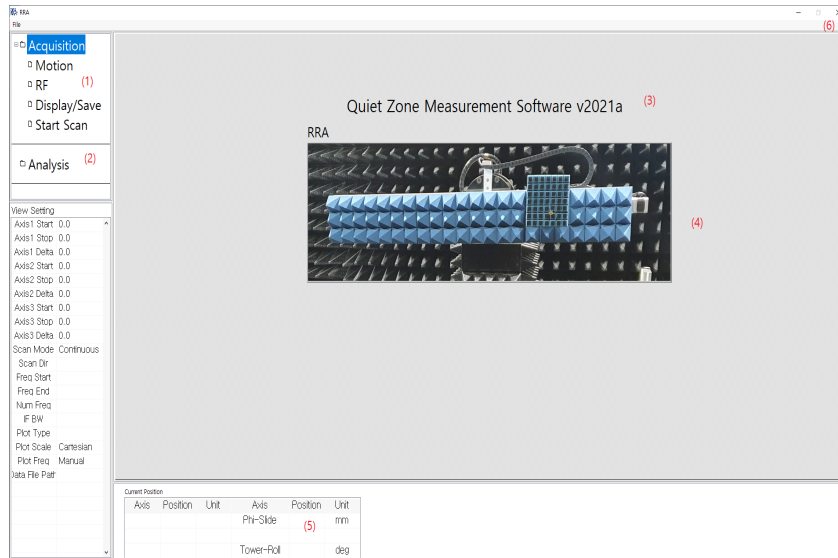


② 실행파일(qzscan.exe)을 마우스 좌 클릭함



③ 실행 화면

- (1) 모션 및 RF, 표시화면, 구동시작 등의 셋팅을 설정함
- (2) 스캔이 완료된 후 해석시 사용함
- (3) 측정프로그램의 버전을 나타냄



- [그림 3.3.6] 프로그램 실행 시 첫 화면
- (4) 측정시스템 이미지, data 폴더의 이미지 파일을 변경하면 자동 변경됨
 - (5) 현재 모션의 위치를 나타냄
 - (6) 프로그램 종료 시 사용함 (팝업창에서 Yes → 종료, No → 종료되지 않음)

④ Motion 셋팅화면

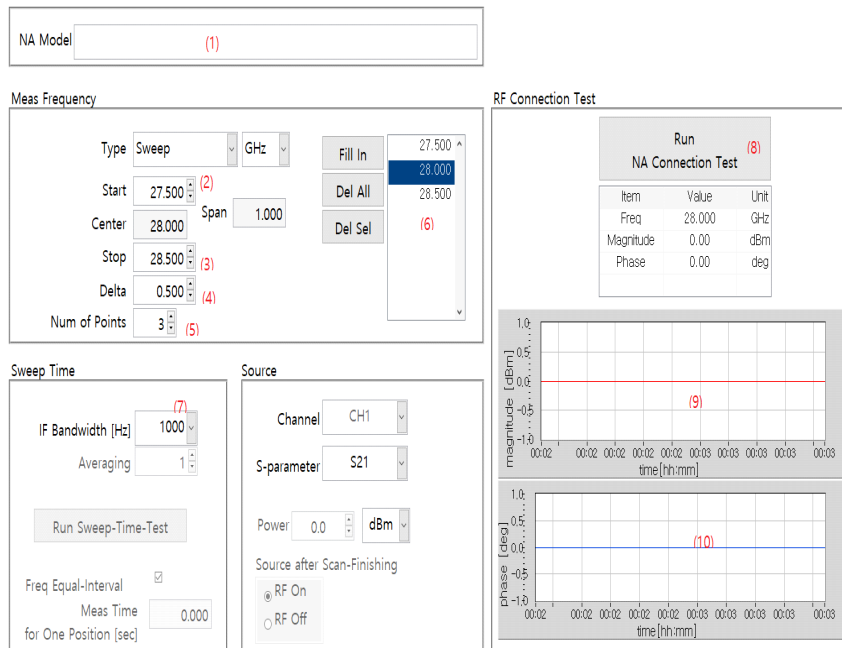
(1) 좌측 Acquisition의 Motion을 누르면 우측에 다음과 같은 화면이 생성됨

[그림 3.3.7] Motion 셋팅화면

- (2) Axis1과 Axis2의 축을 선택함
- (3) 스캔 시작 지점을 설정함
- (4) 스캔 종료 지점을 설정함
- (5) 스캔 step 간격을 설정함
- (6) 스캔 step의 개수를 설정함
- (7) 스캔 속도를 설정함 (10mm/s 권장)
- (8) 스캔 방향을 설정함 (양방향으로 이동하면서 측정 수행함)
- (9) 스캔 종료후 복귀 모드 설정(Back to Start: 시작각도로 다시 복귀함)
- (10) 현재 위치를 표시함
- (11) 자유 이동 시 속도를 설정함
- (12) 음의 방향으로 자유 이동을 설정함
- (13) 현재 위치를 0 점으로 설정함 (반드시 설정 필요함)

⑤ RF 성능측정 셋팅 화면

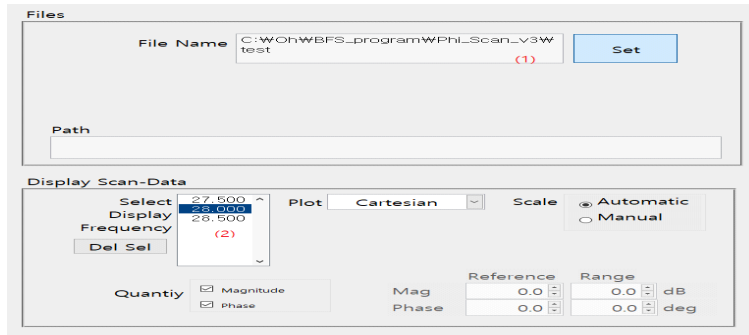
- (1) NA의 모델을 표시함 (현재 NA연결이 되어있지 않아서 빈칸임)
- (2) 측정 주파수의 시작주파수를 설정함



[그림 3.3.8] RF 성능측정 셋팅화면

- (3) 측정 주파수의 종료주파수를 설정함
- (4) 측정 주파수의 간격을 설정함
- (5) 주파수의 개수를 설정함
- (6) 설정된 주파수의 목록을 보여줌
- (7) NA의 IF 대역폭을 설정함 (100Hz)
- (8) 주파수와 NA 설정값 등을 시험함
- (9) 시험에 따라 읽은 크기값을 시간적으로 표시함
- (10) 시험에 따라 읽은 위상값을 시간적으로 표시함

⑥ Display/Save 셋팅화면

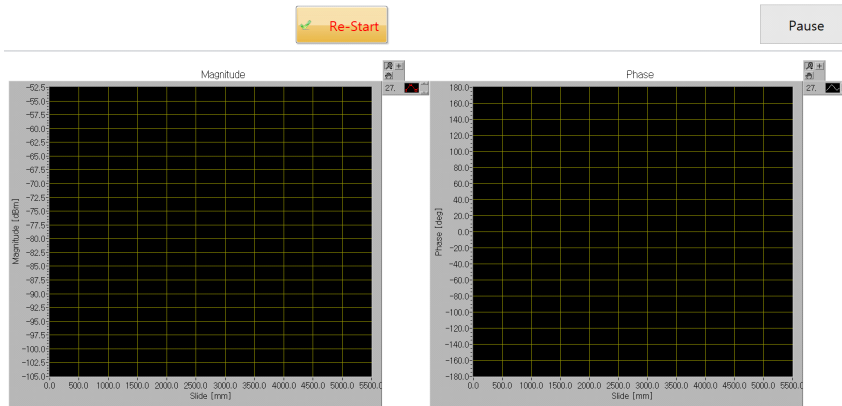


[그림 3.3.9] Disply/Save 화면

- (1) 스캔 데이터를 저장할 폴더와 파일명을 설정함
- (2) 스캔할 때 표시할 주파수를 설정함

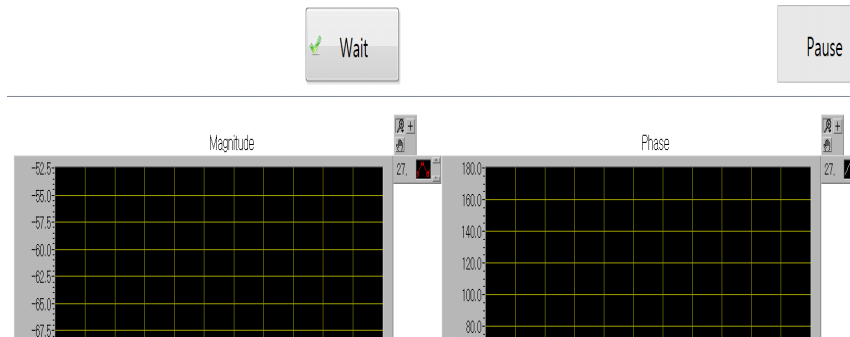
⑦ Start Scan 화면 : 좌측 Acquisition의 Start Scan 버튼을 누름

- (1) Re-Start 버튼을 눌러서 스캔을 실시함



[그림 3.3.10] 스캐닝 시작 대기중

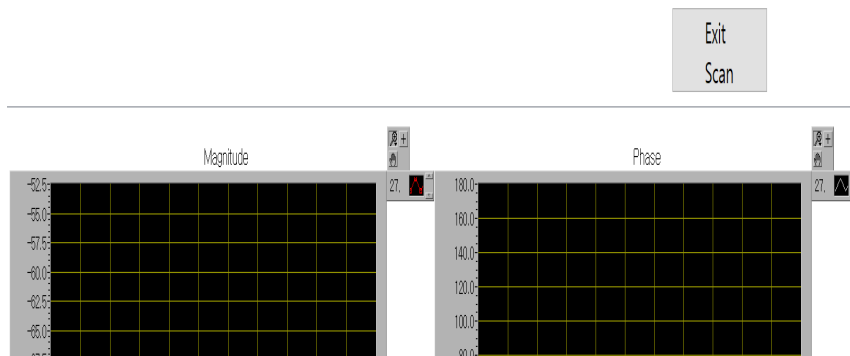
(2) 실행하는 동안 Wait 버튼이 활성화됨



[그림 3.3.11] 스캐닝 실시

[그림] 스캐닝 실시 중

(3) 스캔이 종료되면, Exit Scan 버튼이 활성화 되고, 눌러서 종료한다.
(측정파일은 자동 저장됨)

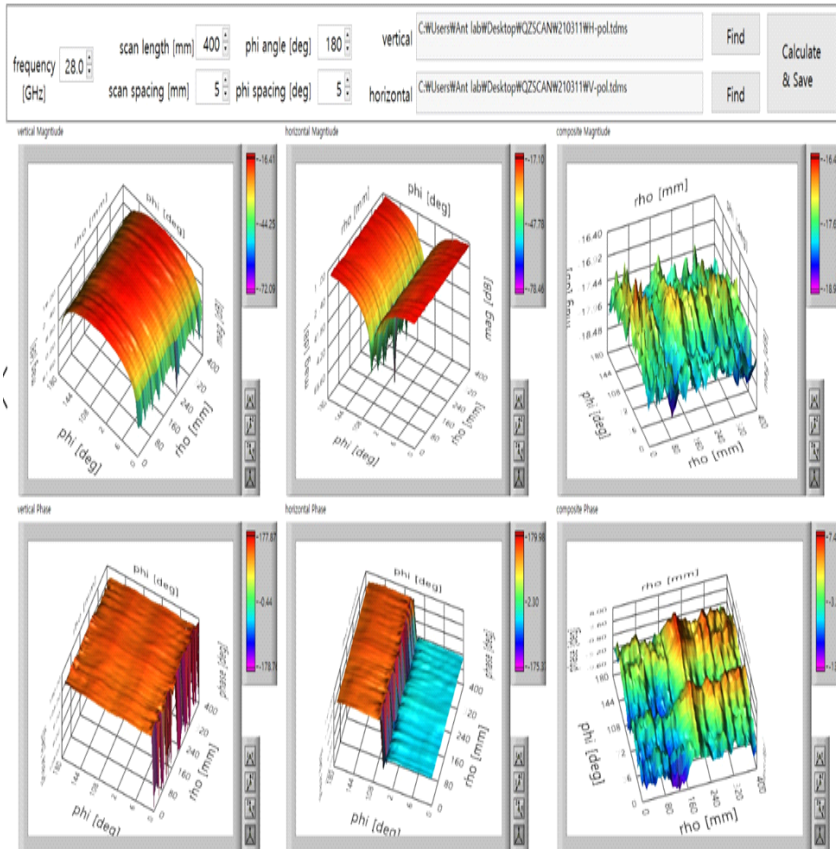


[그림 3.3.12] Start Scan 종료 버튼 활성화

(4) 실행파일(qzscan.exe)이 있는 폴더에서 .tdms 파일을 실행함

라. 데이터 분석 소프트웨어

- ① 평가하고자 하는 QZ 영역 내에서 측정된 수직 편파/수평 편파 raw data를 적용하여 진폭 및 위상 특성을 분석



[그림 3.3.13] 데이터 분석 소프트웨어 및 분석화면



제4장

결론

제4장 결 론

본 연구에서는 국내 5G 기가자재 OTA 인증/사후관리 시험 등을 위하여 사용하는 CATR 시험장 적합성 평가 방법을 마련하기 위한 연구를 수행하였다.

CATR 챔버 내에 Quiet Zone 형성을 위한 기본 CATR 설계 이론과 챔버 내에 제작된 구성시스템 설치 방법 및 측정 시 주의사항 등 측정에 관한 절차에 대해 자세하게 기술하였다.

또한, CATR Quiet Zone의 주요특성 파라미터에 대하여 알아보고 이러한 특성 측정을 위한 특성 평가법(CATR QZ 횡단면에서의 2-D scan 방법, CATR QZ 횡단면에서의 radial-angle scan 방법)을 소개하고, 국립전파연구원에서 자체 개발한 평탄도 측정장치와 CATR QZ 횡단면에서의 radial-angle scan 방법으로 측정한 결과를 기술하였다.

측정결과 이천전파시험센터(사후관리과)에서 구축한 CATR 챔버 QZ은 60cm(지름) x 40cm(높이) 범위에서 만족하는 것을 확인하였다.

향후, 측정 보조기구(아답터)를 추가 제작하여 CATR 챔버의 균일장 높이 변화 특성을 추가 분석할 예정이며 CATR을 보유한 지정시험기관의 QZ 성능 특성 상호비교를 수행하여 안전한 전파 이용환경 조성에 필요한 5G 방송통신기가재 적합성평가 시험 신뢰성을 제고하겠다.

참 고 문 헌

1. IEEE Std 1720, "Recommended Practice for Near-Field Antenna Measurements", 2012.
1. 세계 각국의 5G 현황 분석 (1) - 5G 표준화 현황:
<https://www.netmanias.com/ko/post/reports/11502/5g/global-5g-status-1-5g-standardization>.
2. TTA 정보통신용어사전 IMT-2020:
<http://terms.tta.or.kr/dictionary/dictionaryView.do?subject=%EC%95%84%E C%9D%B4%EC%97%A0%ED%8B%B0+2020>
3. Gammel, P., et al. "5G in perspective: a pragmatic guide to what's next." White Paper. Available online: http://www.skyworksinc.com/Products_5G_Whitepaper.aspx (2017).
4. 이승윤 외. "5G 안테나 기술 동향." 전자파기술 29.2 (2018): 3-15.
5. 3GPP TR 38.104 v15.5.0 "Base Station (BS) radio transmission and reception(Release 15)", 2019
6. 3GPP TR 38.803 v14.2.0 "Radio Frequency (RF) and co-existence aspects (Release 14)", 2017
7. "Way forward on NR UE RF requirements," R4-1610620, 2016, Qualcomm.
8. 변정욱 외. "5G NewRAT 디바이스의 RF 시험방안 및 측정기술 동향." 한국통신학회 학술대회논문집 (2017): 752-753.
9. 윤세정, 이보원, 임종혁, 김희백, 최윤조, "R-SAM 측정방법 국제표준화 추진", 2016
10. OTA in-channel selectivity:
<https://itectec.com/spec/5g-nr-bs-radiated-receiver-characteristics-ota-in-channel-selectivity/>
11. "OTA test metrics and testability for 5G mmW UE," R4-1703301, 2017, LG Electronics.
12. 3GPP TR 38.810 v16.2.0 "NR Study on test methods(Release 16)", 2019.
13. "TP to TR 38.810 - Reverberation Chamber Alternative Test Method," R4-1803412, 2018, Bluetest.
14. "NFM without Near-to-Far Transform in mmWave," R4-1803870, 2017,

- Anritsu.
15. Balanis, Constantine A. Antenna theory: analysis and design. John Wiley & sons, 2016.
 16. Kim, youngryoul, "3GPP 5G NR RAN4 Update and mmWave OTA test," Keysite, 2019
 17. 변정욱 외. "3GPP RAN UE RF 시험방법 표준화 동향." 한국통신학회 학술대회논문집 (2018): 444-445.
 18. 3GPP TR 38.141-1 v15.1.0 "NR Base Station (BS) conformance testing Part 1: Conducted conformance testing (Release 15)", 2019
 19. 3GPP TR 38.141-2 v15.1.0 "NR Base Station (BS) conformance testing Part 1: Radiated conformance testing (Release 15)", 2019
 20. 기지국 OTA 측정 방법:
<https://www.ecnmag.com/article/2018/09/overview-3gpp-defined-ota-testing-methodologies-5g-devices>
 21. KS X 3271, "5G NR(New Radio) 이동 통신 무선 설비 복사 시험 방법", 2019.
 22. 김강욱, 오순수, 정영배, "신기술 적용 안테나 고속측정 기술개발", 2021.
 23. 김남, 김정환, 최도민, '전자파 적합성 평가 안테나 교정 및 5G 시험장 평가 방법 표준화 선도 연구", 2021.

5G 시험장(CATR) 유효성 평가방법 연구



국립전파연구원

National Radio Research Agency

(58323) 전남 나주시 빛가람로 767

발행일 2022. 4.

발행인 서 성 일

발행처 과학기술정보통신부 국립전파연구원

전 화 061) 338-4414

인 쇄 다우프린팅

Tel. 062) 952-2033

ISBN : 979-11-5820-208-8

<비매 품>

주 의

1. 이 연구보고서는 국립전파연구원에서 수행한 연구결과입니다
2. 이 보고서의 내용을 인용하거나 발표할 때에는 반드시 국립전파연구원 연구결과임을 밝혀야 합니다.