

제 출 문

본 보고서를 「안테나 측정기술 연구」 과제의
최종보고서로 제출합니다.

2005. 12. 15.

연구책임자 : 박 한 규 (연세대학교)

연 구 원 : 김 정 민 (연세대학교)

위 상 혁 (연세대학교)

김 우 태 (연세대학교)

연구보조원 : 이 경 원 (연세대학교)

이 재 원 (연세대학교)

요 약 문

1. 과제명 : 안테나 측정기술 연구
2. 연구 기간 : 2005. 2. 28 ~ 2005. 12. 15
3. 연구책임자 : 박 한 규
4. 계획 대 진도

가. 월별 추진내용

세부내용	연구자	월별 추진계획												비 고
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
국내외 안테나 측정 기술 동향 조사 및 분석	이재원	■	■	■										
휴대 안테나 인증 및 측정 방법 자료 조사	이경원				■	■	■							
전자파 무반사실을 이용한 안테나 성능 측정	김정민						■	■	■					
안테나 종류별 측정 방법 연구	위상혁							■	■	■	■			
CTIA 인증 휴대 전화 안테나 측정 방법 연구	김우태							■	■	■	■			
분기별 수행진도(%)		30			30			30			10		100	

나. 세부 과제별 추진사항

- 1) IEEE Standard Test Procedures for Antennas, CTIA 등의 자료를 이용한 안테나 측정 일반에 관한 연구
- 2) 전자파 무반사실을 이용한 안테나 별 측정 방법 연구 (Microstrip patch 안테나, UWB 안테나, DAB 안테나, 5 GHz 대역 초소형 안테나 등.)
- 3) CTIA 인증 자료를 바탕으로 휴대 전화 안테나 성능 측정방법에 관한 분석

5. 연구 결과

- 1) 전자파 무반사실을 이용한 안테나 측정 방법 정리
- 2) 전자파 무반사실을 이용한 안테나 별 측정 방법 (Planar 슬롯 안테나, 이중편파 DAB 안테나, UWB 안테나, 소형 및 초소형 안테나)
- 3) 휴대전화 안테나 인증에 관한 자료 분석
- 4) CTIA 자료 분석
- 5) CTIA 인증 자료를 바탕으로 휴대 전화 안테나의 성능 측정 방법에 관한 자료 분석 및 정리
- 6) 전파연구소 휴대 단말기 측정 시스템 분석

6. 기대효과

전파연구소 전자파 무반사실의 이용 활성화를 통하여 안테나 측정 기술기준 및 측정기술을 확보하여 대학, 연구소 및 기업을 지원함으로써 안테나 측정 관련 연구의 경쟁력 향상 및 발전에 기여할 수 있다.

7. 기자재 사용 내역

시설·장비명	규격	수량	용도	보유 현황	확보 방안	비 고
o 네트워크분석기	20 GHz	1	안테나 측정	보유		
o 전자파 무반사 실	50 GHz	1	안테나 특성 측정	보유		
o 표준 Horn Antenna	2~50 GHz	20	안테나 특성 측정	보유		
o 다채널 ENA	8.5 GHz	1	안테나 측정	보유		

8. 기타사항

SUMMARY

Recently, the required frequency bands of wireless communications are moved to higher frequency band region and the size of an antenna becomes smaller with wide bandwidth. Therefore, the accurate antenna radiation pattern measurement becomes difficult.

Conventionally, the antenna pattern measurement system consists of microwave system, positioning system, anechoic chamber, and controller (operated by control software). The distance between standard gain horn antenna(transmitter) and AUT (receiver) must be defined more than certain distance (see. page 20). Rotating the four axis of positioner, antenna radiation patterns (E- and H, Co-pol. and cross-pol.) can be measure in an authorized anechoic chamber. The measurement procedure is depend on the antenna radiation pattern shape (broadside and endfire) and polarization (linear and circular).

The measurement of small (electrically and physically) antenna is slightly different because the reflected wave from the positioner. To minimizing the above mentioned effect, the positioner should be vanished on the axis of the transmitting antenna and AUT (using the azimuth positioner). The measurement procedure and measured radiation patterns of the some antennas are shown in Chapter 3.

There are a lot of certification programs in antenna measurement. However, mobile station antenna performance should be tested using CTIA certification program. In this certification program, the measurement of mobile station with SMA phantom is also required. The antenna measurement is conducted using 'conical' or 'great circle' test method (It depends on the measurement system.). The transmitting and receiving performance are calculated using TRP (Total Radiated Power) and TIS (Total Isotropic Sensitivity), respectively. Test procedures are described in Chapter 4.

From these results we can conclude that these measurement procedures are very useful for operating the RRL anechoic chambers. Moreover, the research on antenna development and antenna measurement can be improved efficiently by using the RRL antenna measurement system.

목 차

표 목 차	9
그 립 목 차	11
제 1 장 서 론	14
제 2 장 안테나 측정 시스템	17
제 1 절 안테나 측정 시스템 구성	18
1. 안테나 이격거리	19
2. 전자파 무반사실	21
3. 안테나 좌표계	22
4. 안테나 측정방법	24
5. 이득 측정	26
6. 측정 소프트웨어	28
제 3 장 안테나 측정 방법 및 실측 결과	30
제 1 절 연세대학교 전자파 무반사실	31
제 2 절 중대형 안테나 측정	33
제 3 절 소형 안테나 측정	34
1. Planar 슬롯 안테나 측정	34
2. 이중편파 DAB 안테나 측정	37
3. UWB 안테나 측정	42
4. Compact 안테나 측정	43

제 4 장 휴대 단말기 안테나 측정 기술	49
제 1 절 휴대 단말기 안테나 인증제도	50
제 2 절 CTIA 휴대 단말기 측정 기술	51
1. 측정 범위	51
2. 시험장소 특성 및 무반사 영역 정밀도	60
3. 대체(교환) 부품	79
4. 시험 절차 - 방사 전력	84
5. 시험 절차 - 수신기 성능	92
제 3 절 전파연구소 휴대 단말기 측정 시스템	101
1. 시스템 개요	101
2. 안테나 원거리장 측정을 위한 RF 시스템	102
 제 5 장 결 론	 107
 [REFERENCES]	 110
 부 록	 111

표 목 차

표 2-1. 안테나 측정을 위한 송수신 안테나 이격거리 ..	20
표 4-1. 최소 측정 거리	60
표 4-2. 최소 측정거리 산출 (참고용)	61
표 4-3. 교체 부품을 위한 시험 주파수들	80
표 4-4. 교체 부품 데이터 기록 예	81
표 4-5. 교체 부품 데이터 파일 형식 예	83
표 4-6. 아날로그 기지국 파라미터	84
표 4-7. 아날로그 시험 주파수	85
표 4-8. 아날로그 최소 방사 전력 크기에 대한 요구사항	85
표 4-9. CDMA 기지국 파라미터들 - 셀룰러 밴드	86
표 4-10. CDMA 기지국 파라미터들 - PCS 밴드	87
표 4-11. CDMA 시험 주파수들	87
표 4-12. CDMA 최소 방사 전력 크기 필요조건들	88
표 4-13. TDMA 기지국 파라미터들	89
표 4-14. TDMA 시험 주파수	89
표 4-15. TDMA 최소 방사 전력 크기 필요조건들	90
표 4-16. GSM-1900 기지국 파라미터들	91
표 4-17. GSM-1900 시험 주파수들	91
표 4-18. GSM-1900 최소 방사 전력 크기 필요조건들	92
표 4-19. CDMA RX 민감도에 필요한 것들	96
표 4-20. 디지털 루프백 비트 에러율 (BER) 시험을 위한 명령들	97

표 4-21. TIA/EIA/IS-136-A RX 민감도 요구사항	99
표 4-22. GSM-1900 RX 민감도 요구사항	100

그 립 목 차

그림 2-1. 안테나 측정 시스템 구성도	18
그림 2-2. 안테나 원거리장 장치 이격거리	20
그림 2-3. 사각형 및 테이퍼형 전자파 무반사실과 측면 벽에서의 전파 반사	21
그림 2-4. 포지셔닝 시스템 구성도	23
그림 2-5. 안테나 방사 패턴 측정 예	24
그림 2-6. 원형편파의 기본 파형	26
그림 2-7. Gain Transfer Method	27
그림 2-8. 안테나 원거리장 측정시스템 구성도	29
그림 3-1. 연세대학교 전자파 무반사실 내부	31
그림 3-2. Standard gain horn 안테나가 설치된 송수신 포지셔너	32
그림 3-3. Planar 미앤더 슬롯 안테나	35
그림 3-4. 지그를 이용하여 포지셔너에 고정된 피측정 안테나	35
그림 3-5. 측정된 미앤더 슬롯 안테나의 E-plane 방사 특성	37
그림 3-6. 이중편파 DAB용 안테나	38
그림 3-7. 측정된 yz 평면의 방사 패턴	39
그림 3-8. 측정된 xy 평면의 방사 패턴	40
그림 3-9. 측정된 CP 안테나의 방사 패턴	41
그림 3-10. 측정된 CP 안테나의 축비	41
그림 3-11. 제작된 UWB 안테나	42

그림 3-12. UWB 안테나의 co-polarization 패턴	43
그림 3-13. 보우타이 형태의 미앤더 슬롯 안테나	44
그림 3-14. 측정된 보우타이 형태의 미앤더 슬롯 안테나 의 E-plane 방사패턴	45
그림 3-15. Package-level integrated LTCC 안테나	47
그림 3-16. 측정된 LTCC 안테나의 방사패턴 (E-plane co-pol)	47
그림 3-17. Package-level integrated modified U 슬롯 안테나	48
그림 3-18. 제작된 안테나의 E-plane 방사패턴	48
그림 4-1. 원형 스캔의 대표적인 설치 - 자유공간	54
그림 4-2. 큰원 스캔의 대표적인 설치 - 자유공간	55
그림 4-3. 팬텀이 있을 때 원뿔 스캔의 대표적인 설치	57
그림 4-4. 팬텀이 있을 때 큰원 스캔의 대표적인 설치	57
그림 4-5. 큰원 스캔법과 측정점 (30도 격자인 경우) ..	58
그림 4-6. 큰원 스캔법의 스캔면	59
그림 4-7. 구 좌표계	63
그림 4-8. 안테나 편파 측정	64
그림 4-9. 좌표에 따른 지지 구조물의 방향과 구좌표 범위	65
그림 4-10. 대표적인 개별측시스템 구성(a) 그리고	

혼합측시스템 구성 (b)	66
그림 4-11. 파이축 시험 구성	69
그림 4-12. 쉼타축 시험 구성	71
그림 4-13. 쉼타축 시험에서 허용된 교체 탐침 위치를 설명한 그림	75
그림 4-14. 대표적인 개별측 시스템(a) 그리고 혼합측 시스템을 위한 파이축 시험 구성도(b)	75
그림 4-15. 대표적인 개별측 시스템(a) 그리고 혼합측 시스템을 위한 쉼타축 시험 구성도(b)	76
그림 4-16. 파이축 시험을 위해 허용된 대체 실험 구성도 예	76
그림 4-17. 쉼타축 시험을 위해 허용된 대체 실험 구성도 예	77
그림 4-18. 코사인 법칙 길이범위를 조정하는 그림	78
그림 4-19. 교환 부품을 위한 구성도	80
그림 4-20. 전파연구소 휴대 단말기 측정 시스템 블록도	103
그림 4-21. Air Sensitivity & Channel Power 측정 시스템의 블록 다이어그램	104
그림 4-22. RF 시스템 구성	106

제 1 장 서 론

제 1 장 서 론

21세기 들어 전자파 이용 주파수대역이 점차 고주파수 대역으로 확장되고 있으며, 고성능(이득, 지향성, 편파특성) 및 고기능 안테나들의 개발되고 요구됨에 따라 정확한 안테나의 특성 측정의 중요도가 날로 더해지고 있다. 이와 함께, 전자파 관련시스템 설계에 있어 디자인 margin이 작아짐에 따라 정확한 측정의 필요성이 증대되어 안테나의 특성 측정을 위한 방법론 및 장비개발에 관심이 집중되고 있다. 국제사회에서도 이에 대한 필요성을 인식하여 CIPM 전기 및 자기 자문위원회(CCEM)의 working group인 GT-RF에서도 안테나특성 관련량을 Key Comparison 항목으로 정하여 세계 각국의 표준기관들이 참여하여 국제비교를 수행하고 있으며, 한국표준과학연구원 전자파그룹에서도 적극적으로 참여하고 있는 실정이다.

국내에서는 소수의 대학, 연구소, 및 산업체 등이 전자파 무반사실을 보유하고 있으며, 이를 이용한 다양한 안테나 측정을 수행하고 있다. 안테나의 측정 방법은 주로 IEEE -STD-149-1970에서 제시한 안테나 측정 방법을 이용하고 있으나, 차세대 통신 시스템에서 요구하는 초소형 광대역 안테나에 대한 안테나 종류별 (구조 및 E-plane 과 H-plane에 따른) 측정 방법에 대한 자료는 미비한 실정이다. 일반적으로 주파수가 높아지고 안테나는 소형화 되어가기 때문에, 안테나의 정확한 복사 패턴을 얻기가 힘들다 (예 : 측정시스템의 포지셔너로부터 반사되는 신호에 의한 간섭). 또한, 최근 전 세계적으로 휴대 단말기의 수요가 폭발적으로 증가하고 추세지만, 이들 휴대 단말기들은 전자파를 이용하는 장비이기 때문에 엄격한 규제들 따라야 한다. 즉, 전자파를 송신하고 수신하는 안테나의 특성은 정확한 측정과 인증 절차를 거쳐야 한다.

본 연구는 전파연구소에 설치될 안테나 측정 지원센터에 적합한 안테나 측정방법론과 운용방안(standard procedure)을 확보하고 국제적인 기술 흐름에 부합하는 측정기술 마련하기 위함이다. 본 보고서의 제 2장에서는 안테나 측정 시스템과 가장 일반적인 안테나 측정 방법에 관해 이야기하겠다. 중대형 안테나의 측정 방법과 연세대학교 무반사실을 이용한 다양한 소형 안테나의 실측과 측정결과를 제 3장에서 설명하고, 제 4장에서는 휴대 단말기 인증제도와 CTIA 인증 프로그램에서 제시하는 휴대 단말기 안테나의 측정에 관해 알아보고, 전파연구소에 설치될 휴대 단말기 안테나 측정 시스템을 살펴보겠다.

제 2 장 안테나 측정 시스템

제 2 장 안테나 측정 시스템

제 1 절 안테나 측정 시스템 구성

안테나의 측정 시스템 구성은 그림 2-1과 같이 마이크로웨이브 시스템, 포지셔닝 시스템, 측정장소, 소프트웨어를 이용하여 송, 수신 안테나를 제어하는 컨트롤러로 나뉜다. 일반적으로 마이크로웨이브 시스템(예: 네트워크 아날라이저)은 송신부와 수신부로 크게 나뉘어진다. 포지셔닝 시스템은 전자파 무반사실 내에 설치되며 나머지 장비들 전자파 무반사실 밖에 설치된다. 송신부는 기준 혼 안테나를 설치하는 부분이며, 수신부는 피측정 안테나를 장착하는 부분이다. 안테나 측정장소는 크게 실외장과 실내장으로 구분되며, 두 가지 모두 제약이 따른다.

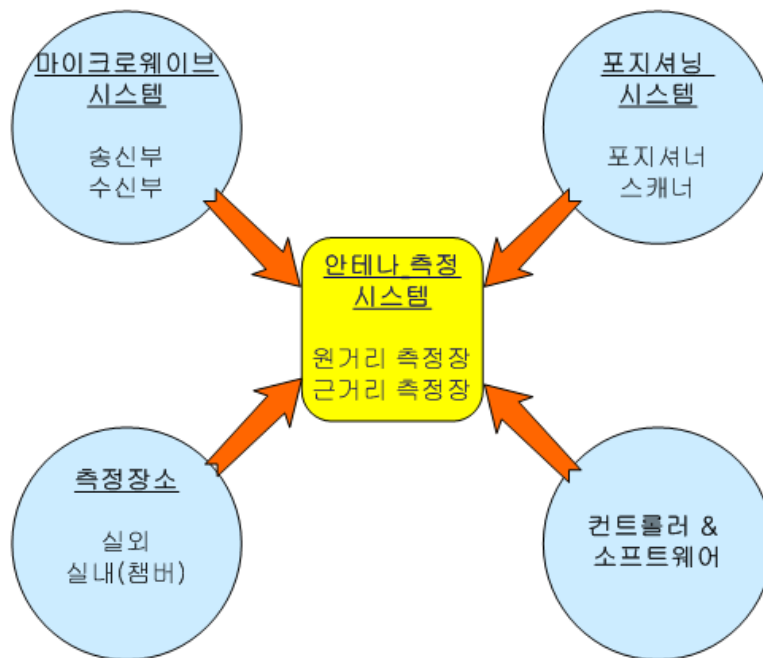


그림 2-1. 안테나 측정 시스템 구성도

실외장의 경우 제어가 어려운 외부 환경조건의 영향을 크게 받는 반면 실내장의 경우 큰 안테나 시스템(배, 비행기 등)을 측정하기에는 공간의 크기에 제약을 받는다. 본 연구에서는 실내장 중에서 전자파 무반사실(Anechoic Chamber)에 대하여 연구하였다. 송수신 안테나가 설치되는 장비를 포지셔너라고 하는데, 이것은 안테나의 방사 패턴 및 이득을 수신하기 위해 수신안테나를 원하는 축으로 움직이도록 안테나를 포지셔너에 고정하여 안테나의 스캔 방향을 제어하는데 이용이 된다. 송수신 안테나, 컨트롤러 및 포지셔너를 물리적으로 제어하기 위해서는 별도의 소프트웨어가 필요하다. 물론 이 프로그램은 전자파 무반사실의 설계 및 제작한 업체 및 기관으로부터 제공 받는다.

1. 안테나 이격거리

안테나의 복사특성을 측정하기 위한 원거리장 측정시스템은 송신 안테나로부터 복사되는 구면파가 자유공간으로 전파되어 송신 안테나로부터 충분히 먼 거리에서 구면파가 국부적으로 평면파가 되는 영역에서 측정대상 안테나(AUT)를 시험하는 장비이다. 평면파가 되기 위한 송수신 안테나간의 이격거리 R 은 안테나의 크기 및 파장에 따라 다르다. 표 2-1은 안테나의 성능을 측정하기 위한 최소 이격거리 조건이다. 그러나 안테나를 제외한 외부로부터 전자파가 유입되지 않는 완벽히 전자파 차폐가 되는 전자파 환경이 잘 갖추어진 공간에서 실제로 송신 안테나로부터 수신 안테나까지의 거리가($R=2D^2/\lambda$) 인 위치에서 수신안테나를 시험할 경우 수신 안테나가 놓여지는 Quiet Zone은 완벽한 평면파를 이루지는 못하여 수신 안테나의 개구면 끝 부분으로 갈수록 구면파의 형태가 남아 있게 되어 수신 안테나는 완전한 평면파를 수신하지 못하게 된다. 이러한 경우는 수신안테나의 복사패턴 측정에 영향을 주게

된다. 이것은 개구면 끝에서 생기는 위상 오차에 의해 발생한다. 즉 송수신 안테나간의 이격거리가 부족함으로 생기는 수신 레벨은 안테나의 부엽의 레벨을 변하게 하므로 복사 패턴 측정에 있어서 오차를 만들게 된다. 그러므로 통상적으로 안테나 원거리장 측정을 수행하기 위한 이격거리는 표 2-1에서 요구하는 조건의 2 ~ 4 배 또는 그 이상의 이격거리로 구성하는 것이 수신 안테나의 좋은 복사 패턴 특성을 얻을 수 있다.

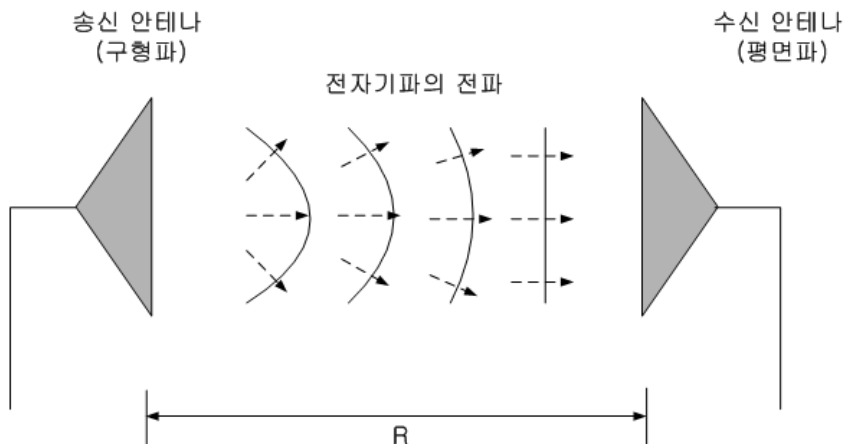


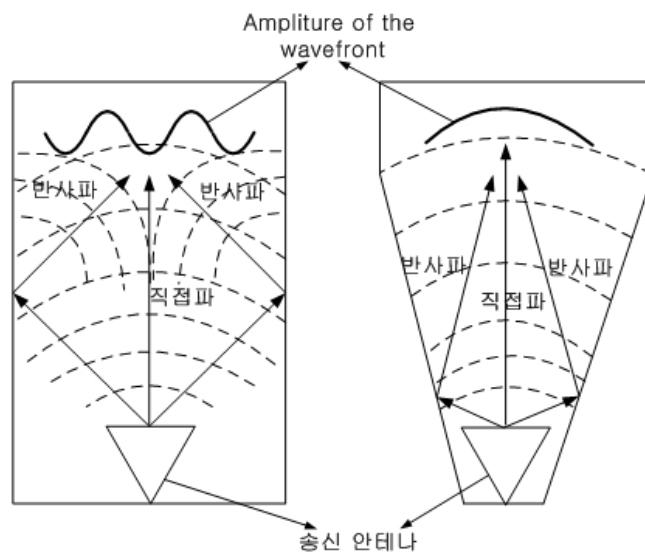
그림 2-2. 안테나 원거리장 장치 이격거리

표 2-1. 안테나 측정을 위한 송수신 안테나 이격거리

	조건	이격거리(R)
D : AUT aperture size λ : wavelength	$D \geq 2.5 \lambda$	$R > 2D^2 / \lambda$
	$1.3 \lambda < D < 2.5 \lambda$	$R > 5D$
	$D \leq 1.3 \lambda$	$R > 1.6 \lambda$

2. 전자파 무반사실

외부 간섭의 최소화를 확보하기 위해 실외 측정장의 대안으로 고안된 것이 전자파 무반사실이다(그림 2-3). 전자파 무반사실의 측정은 벽이 고주파 흡수체로 둘러싸인 실내에서 행해진다. 전자파 무반사실을 형태에 따라 크게 사각형 무반사실과 테이퍼형(Taper)형 무반사실 두 가지로 분류할 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 사각형 무반사실의 경우는 직접파(송신안테나에서 수신안테나로 반사 없이 가는 파)와 반사된 파가 위상 차이가 남을 알 수 있다. 이에 반해 테이퍼형 무반사실 안테나의 경우는 송신 안테나와 고주파 흡수체의 벽 사이의 거리가 최소에서 수신 안테나로 가까워 질수록 거리를 늘려 감에 따라 직접파와 간섭파의 위상 차이를 거의 최대한으로 줄였다. 결국 직접파와 반사파들 사이의 위상 차이를 최대로 줄임으로써 더욱 정확한 복사 패턴을 얻을 수 있다.



(가) 사각형 무반사실

(나) 테이퍼형 무반사실

그림 2-3. 사각형 및 테이퍼형 전자파 무반사실과 측면 벽에서의 전파반사

3. 안테나 좌표계

안테나의 복사 패턴은 안테나로부터 고정된 거리에서의 장의 크기를 방향 함수로서 그래프로 표현한 것이다. 이때 3차원 공간에서 벡터량인 전기장을 정확하고 간편하게 표현하기 위하여 사용되는 안테나 좌표계는 효율적으로 사용되어질 수 있다. 일반적으로 좌표계는 좌표계를 이루는 각각의 성분들이 서로 독립적이며 직교성을 갖는다. 이러한 안테나 좌표계는 안테나 측정시에 사용되는 포지셔너의 형태와 밀접한 관계가 있다. 일반적으로 안테나의 측정에서 좌표계는 언급이 되지 않는다. 하지만 실제로 안테나의 복사패턴, 동일 편파(Co-polarization) 교차편파 (Cross-polarization), 이득, 빔폭 등 안테나 측정으로부터 얻어지는 모두 좌표계의 함수이며 좌표계가 달라지면 그 결과들도 다르게 표현된다. 안테나의 원거리장 특성을 표현하는 좌표계는 직각 좌표계, $\theta-\phi$ (3차원을 표현하는데 이용하는 성분들) 좌표계, / Azimuth-Elevation 좌표계, 수평-수직 좌표계 등이 있다. 각각의 좌표계에서 선형 편파 성분은 좌표계의 단위 벡터 성분으로 표현된다.

안테나의 복사 패턴을 구하기 위해 실제로 측정되는 전기장은 표현식은 다음과 같다 ($\vec{E}(P) = E_\theta \hat{\theta} + E_\phi \hat{\phi}$). 이 $\theta-\phi$ 좌표계는 그림 2-4와 같이 z 축을 중심으로 360° 회전하는 (다)-축과, (다)-축 회전 테이블 위에 y 축을 중심으로 360° 회전하는 (나)-축 회전 테이블을 올려놓음으로써 구현할 수 있다. (다)-축 및 (나)-축은 각각 안테나 복사 패턴의 좌표계 중에서 각각 θ 축 및 ϕ 축에 해당된다. 즉 E_θ , E_ϕ 는 송신 안테나의 편파 방향이 각각 수평 및 수직인 경우에 해당된다.

안테나 측정 시스템에는 송신측과 수신측에 각각의 목적에 맞는 포지셔너가 놓여진다. 송신측에는 송신 안테나가 송신신호의 편파

방향을 조절하기 위한 (가)-축 포지셔너에 장착되며, 수신측에는 피측정 안테나를 회전시켜주는 안테나 포지셔너가 위치하게 된다. 안테나 포지셔너는 (나)-축, (다)-축, (라)-축 포지셔너로 구성되며, 모든 축이 측정에 사용되는 것은 아니며 필요에 따라 사용된다. 안테나 측정에서 1차원 패턴을 측정하는 경우, 즉 패턴의 주축 또는 임의의 한 컷 만을 측정하는 경우에는 (다)-축을 측정 축으로 사용하고, 나머지 축은 안테나의 자세 제어를 위하여 사용하는 것이 가장 바람직하다. 한편 안테나의 2 차원 패턴을 측정하는 경우는 (다)-축을 측정 축으로 다른 한 축을 보조 축으로 사용하는 것이 일반적이다. 방위각 축으로 안테나를 회전시키면서 안테나 패턴을 측정할 때 전후방 움직임은 송신 안테나와 수신 안테나의 중심을 맞추기 위하여 사용된다.

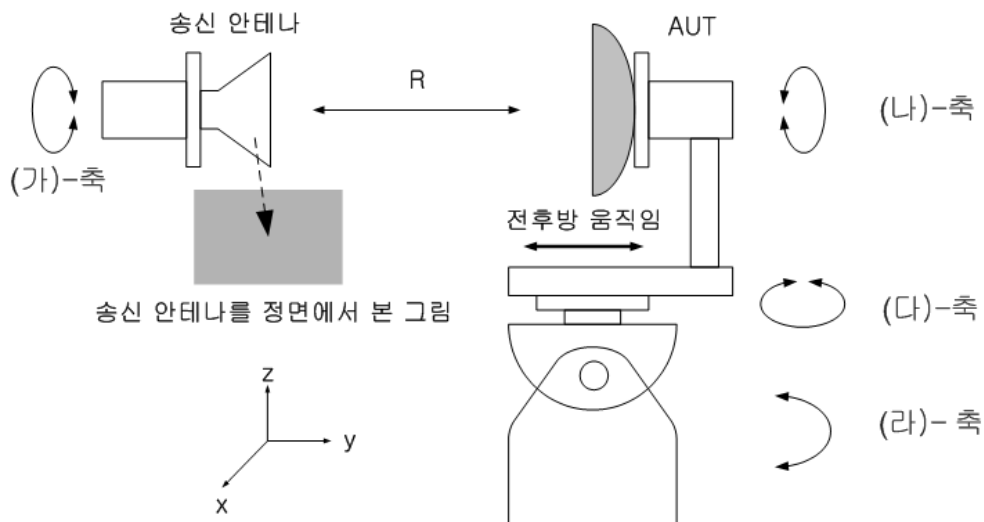


그림 2-4. 포지셔닝 시스템 구성도

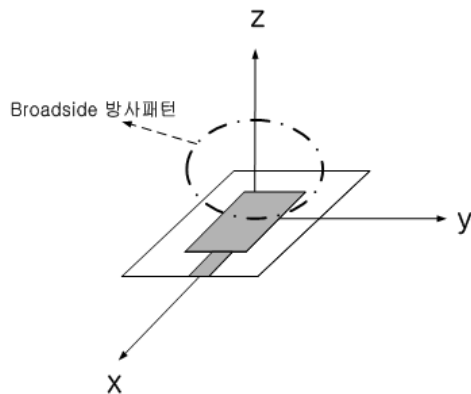
4. 안테나 측정 방법 (그림 2-4 와 그림 2-5 참조)

- Endfire 안테나 : 안테나가 포함된 평면에 주빔이 있는 경우
- Broadside 안테나 : 안테나가 포함된 평면에 수직으로 주빔이 있는 경우

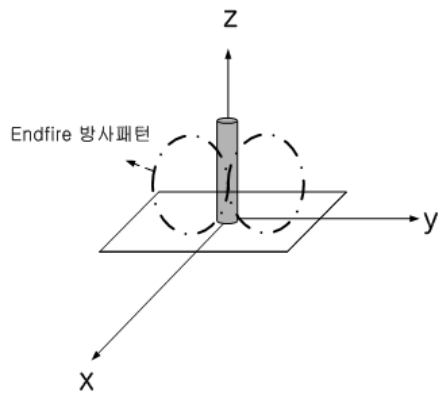
1) 선형 편파 안테나 측정 방법(2D) : 일반적으로 yz 평면의 방사 패턴을 측정한다.

가. Broadside 안테나 측정 방법

- ①~② : Co-polarization (동일 편파)
- ③ : Cross-polarization (교차 편파)
- ① 그림 2-4의 AUT에 Broadside 안테나의 Z 축이 송신 안테나와 바라보도록 Broadside 안테나를 설치한다.
- ② 그림 2-5의 포지셔너의 (다)-축을 360° 회전하여 측정한다.
- ③ 그림 2-4의 송신 안테나를 (가)-축으로 90° 회전한 후, ①~②의 과정을 반복한다.



(가) Broadside 안테나



(나) Endfire 안테나

그림 2-5. 안테나 방사 패턴 측정 예

나. Endfire 안테나 측정 방법 : 일반적으로 xy 평면 측정(전방향 방사패턴)과 xy 또는 yz 평면 측정 (양방향성 방사패턴)을 측정한다.

①~③ : Co-polarization (동일 편파)

④ : Cross-polarization (교차 편파)

① 그림 2-4의 AUT에 Broadside 안테나의 Z 축이 송신 안테나와 바라보도록 Endfire 안테나를 설치한다. 다음으로, 수신 안테나의 포지셔너를 왼쪽 또는 오른쪽으로 90°회전한다. 그러면 안테나의 y 축이 송신안테나와 바라보게 된다.

② 그림 2-5의 포지셔너의 (나)-축을 360°회전하여 측정한다. (xy 평면 측정)

③ 그림 2-5의 (가)축을 90°를 회전한다. 다음으로 그림 4의 AUT에 Endfire 안테나의 Z 축이 송신 안테나와 바라보도록 Endfire 안테나를 설치한다. 마지막으로, (다)-축을 360°를 회전한다. (yz 평면 측정)

④ 그림 2-4의 송신 안테나의 (가)-축을 90°회전한 후, ①~③의 과정을 반복한다.

2) 선형 편파 안테나 측정 방법(3D)- 기본적으로 그림 2-5의 수신 안테나 구성으로 (다)-축을 기준으로 한 후, (나)-축을 일정간격(예. 1°간격)으로 360°회전시키면서 (다)-축을 일정간격으로 회전하여 측정한다. 이때 송신측 안테나의 (가)-축도 (나)-축만큼씩 회전한다. 즉 좌표계에서 표현되는 모든 방향에 대해 측정한다.

3) CP 안테나의 패턴 측정(그림 2-6): 송신 안테나로 선형편파 안테나를 사용하고, 수신 안테나가 원형 편파인 경우 수평편파

송신인 경우와 수직편파 송신((가)-축을 90° 회전한 경우)인 경우에 대해 각각 측정하고 이 두 결과(진폭과 위상성분 둘 다 포함)를 이용하여 수식으로 RHCP (우회 원형 편파) 및 LHCP (좌회 원형 편파) 성분을 계산한다. 이 측정을 통해 바로 축비 (Axial Ratio)가 계산된다.

이 경우에 송신용 안테나로 이중편파 안테나를 사용하여 RF Switch 또는 수동으로 Cable 연결을 교체하여 편파를 제어할 수 있으나 이중편파 안테나의 경우 E-면과 H-면의 패턴이 대칭이 아니어서 CP 패턴 측정에 정확도가 떨어지므로 통상은 대칭성이 좋은 단일편파 안테나를 사용하고 송신측 포지셔너를 90° 회전하여 사용하는 것이 보통이다.

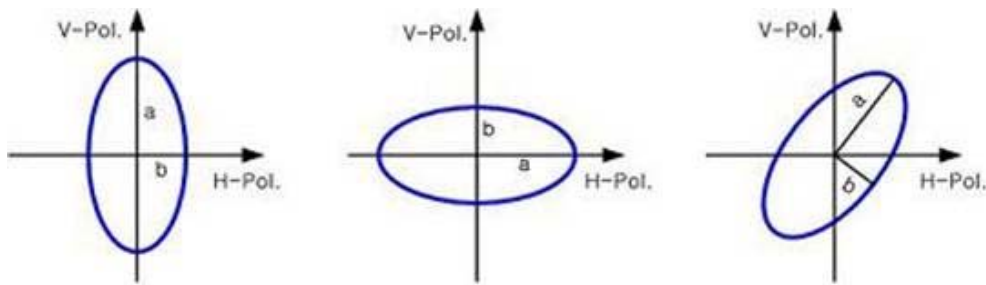


그림 2-6. 원형편파의 기본파형

5. 이득측정

Gain Transfer Method : Far-Field 측정에서 가장 보편적인 Gain Transfer 방법을 사용 한다 이 방법을 이용하기 위해서는 우선 측정하는 주파수에서 이득이 알려진 표준이득 안테나가 필요하다. 표준이득 안테나는 혼 안테나, 다이폴 안테나, Log Periodic 안테나 등이 있으며, 이 안테나들은 안테나 제조사로부터 주파수에

따른 이득 테이블 또는 차트가 제공된다. Gain Transfer Method 는 그림 2-7과 같이 표준이득 안테나와 피측정 안테나를 측정하여, 각각의 복사패턴 최대치를 비교하여 표준 이득 안테나의 이득 으로부터 피측정 안테나의 이득을 얻는 방법이다. 예를 들어서 표준이득 안테나의 이득을 G_{ref} 라 하고 피측정 안테나의 이득을 G_{AUT} 라고 하며, 이들 안테나들의 복사패턴 측정의 최대값을 각각 P_{ref} (피측정 안테나 복사패턴의 최대값), P_{AUT} (표준 이득 안테나 복사 패턴의 최대값)라고 하면 이 두 안테나의 이득은 다음과 같은 관계를 가지고 있다 ($\Delta G_{dB} = G_{AUT} - G_{ref} = P_{AUT} - P_{ref}$). 이 관계식 으로부터 피측정 안테나의 이득을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$(G_{AUT} = G_{ref} + (P_{AUT} - P_{ref}))$$

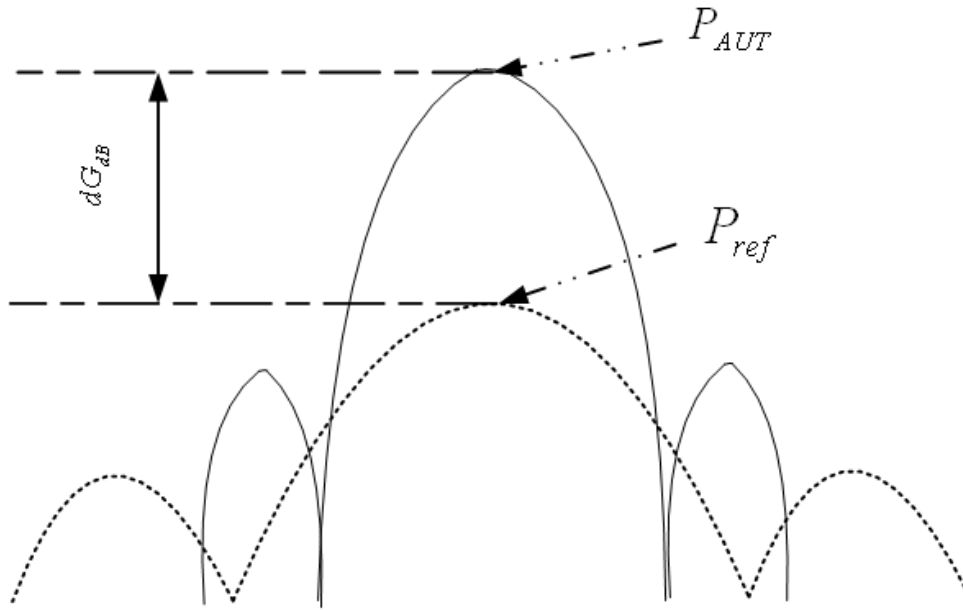


그림 2-7. Gain Transfer Method

6. 안테나 측정 소프트웨어

그림 2-8은 안테나 원거리장 측정시스템 구성도를 보여준다. 일반적으로 안테나 측정 프로그램은 전자파 무반사실의 설계 및 제작한 업체로부터 제공 받을 수 있다. 원거리장 안테나 측정을 중심으로 설명하고자 한다. 우선 앞서 설명한 것과 같이 안테나 측정장비는 안테나의 복사패턴 이득 편파 특성 등 안테나의 원거리 영역에서의 안테나 특성을 측정하기 위한 장비이다. 이러한 안테나의 원거리 특성을 측정하기 위해서는 안테나를 안테나 좌표계를 따라 움직일 수 있도록 회전시켜주는 정밀한 포지셔너가 필요하며 전파를 송수신 할 수 있는 마이크로웨이브 송수신기가 필요하다. 소프트웨어를 통해 안테나 포지셔너의 정밀 위치제어를 수행하며 각각의 측정위치에서 마이크로웨이브 송수신기로부터 신속하면서도 정확한 데이터를 얻기 위한 고속통신을 수행 한다. 또한 이렇게 얻어진 데이터를 안테나 설계자가 얻고자 하는 데이터로 변환하여 사용자에게 보여주는 기능을 수행한다.

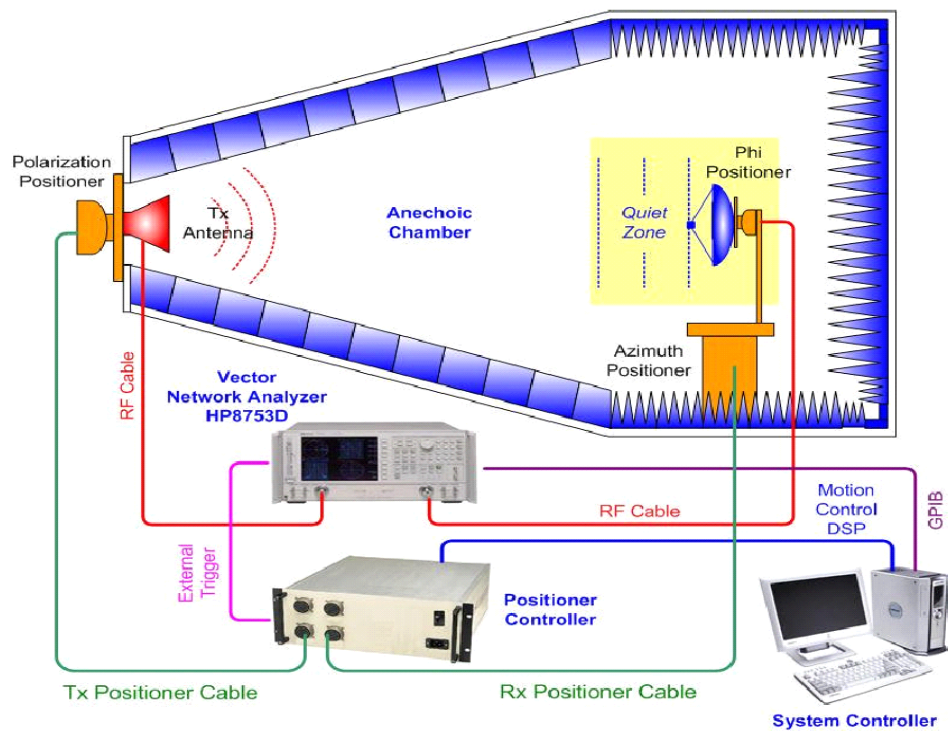


그림 2-8. 안테나 원거리장 측정시스템 구성도

제 3 장 안테나 측정 방법 및 실측 결과

제 3 장 안테나 측정 방법 및 실측 결과

본 장에서는 연세대학교에 설치된 전자파 무반사실을 이용하여 측정된 다양한 형태의 안테나와 그 측정 방법과 측정된 복사패턴에 대해 서술하고자 한다.

제 1 절 연세대학교 전자파 무반사실

현재 국내에서는 대학, 연구소 및 산업체 등에 안테나 관련 분야 연구 개발을 주도하는 여러 형태의 안테나 시험장이 설치되어 있다. 연세대학교 500 MHz ~ 50 GHz 주파수 범위에서 안테나의 복사 패턴을 측정할 수 있는 전자파 무반사실이 운용되고 있다. 전자파 무반사실의 크기는 5 m x 5 m x 10 m 이며, 테이퍼형의 형태를 가지고 있다. 그림 3-1은 전자파 무반사실의 내부를 보여 준다.

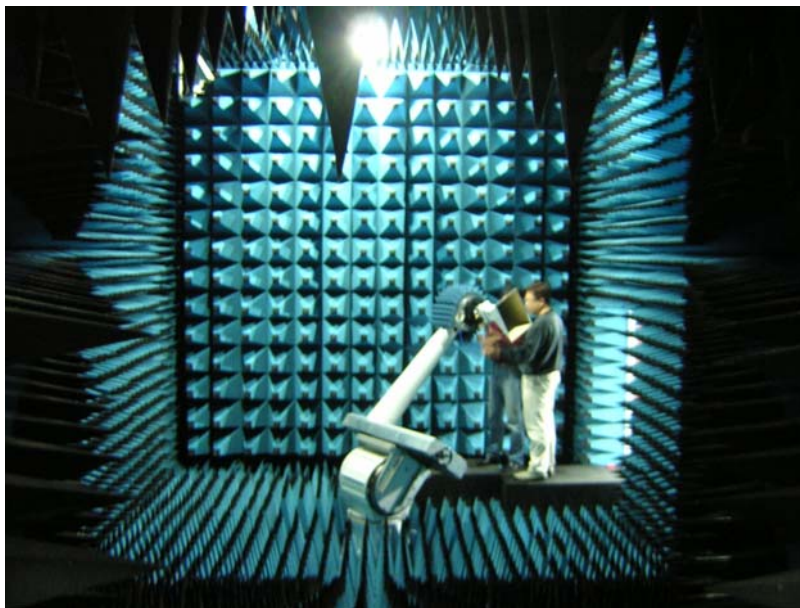
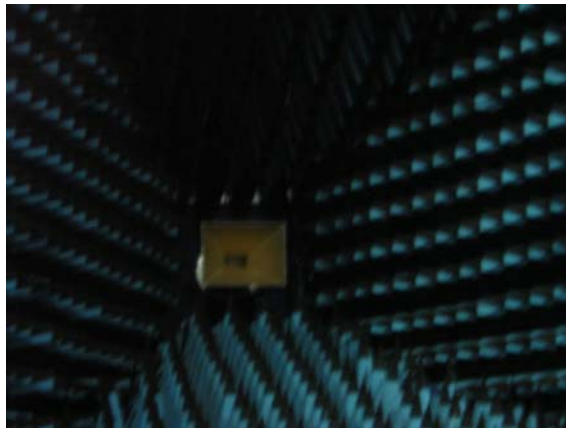
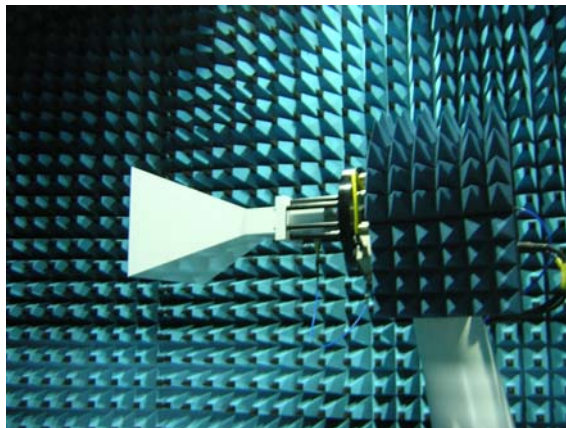


그림 3-1. 연세대학교 전자파 무반사실 내부

전파연구소에 설치될 Indoor Far-Filed Large 안테나 측정 시스템(11 m x 16 m x 9.5 m)보다는 그 크기가 작지만 기본적인 측정 시스템 구성은 유사하기 때문에 연세대학교 전자파 무반사실을 이용한 안테나 측정 방법을 유사하게 적용할 수 있을 것으로 사료된다. 그림 3-2 는 송수신 안테나를 보여준다. 테이퍼형 구조를 가지고 있기 때문에 테이퍼형태의 중심부에 송신 안테나가 위치하고 수신 안테나는 수신 안테나와 마주보고 설치된다. 그림 3-2 (나)는 Standard gain horn 안테나가 장착된 포지셔너를 보여준다.



(가) 송신부



(나) 수신부 (AUT 포지셔너 시스템)

그림 3-2. Standard gain horn 안테나가 설치된 송수신 포지셔너

제 2 절 중대형 안테나 측정

연세대학교 전자파 무반실의 경우 연구의 특성상 소형안테나 및 소형 광대역 안테나의 측정이 주를 이루고 있다. 그러므로, 본 절에서는 전자파 무반사실을 이용한 중대형 안테나의 측정에 관해서 다루기로 한다.

전파연구소에 설치될 전자파 무반사실은 송신 및 수신 포지셔너의 구성이 그림 2-4에 제시한 그림과 같다. 그리고, 측정 주파수 대역이 400 MHz ~ 2.0 GHz, 2.0 GHz ~ 20 GHz, 20 GHz ~ 50 GHz, 50 GHz ~ 60 GHz의 4개로 나누어져 있기 때문에 주파수 대역별로 적합한 측정이 이루어 져야한다. 주파수 별로 측정 시스템의 변화가 있는 것은 아니지만, PNA로부터 제공 받을 수 있는 source가 20 GHz 이상의 높은 주파수를 지원하지 못하고, 주파수가 높아질수록 전송선로에서의 손실이 증가하기 때문에 Frequency multiplier와 RF Mixer를 이용하여 고주파용 안테나를 측정한다. 따라서, 중대형 안테나의 측정에는 안테나의 동작 주파수를 정확히 구분한 후 측정을 수행하여야한다.

중대형 안테나의 측정에서 AUT의 크기가 그림 2-4에서 설명한 포지셔너의 (나)-축 크기보다 큰 경우 안테나의 복사 특성을 고려하여 제 2장 제 1절에서 설명한 방법으로 측정할 수 있지만, 안테나의 크기가 (나)-축 보다 작은 경우 포지셔너에 의한 반사파의 영향으로 정확한 측정 결과를 얻기 어려워진다. 이 경우 다음절에 제시한 소형안테나의 측정 방법을 이용하는 것이 효과적이다. 또한 포지셔너에 안테나를 설치할 때 축에 직접 안테나를 고정 시키는 것이 가장 좋지만, 그렇지 못할 경우 안테나 구조에 적합한 지그가 필요하다. 운영자는 AUT의 구조와 측정에 적합한 지그를 제작해야 한다.

제 3 절 소형 안테나 측정

최근 많은 학교, 연구소 및 산업체에서는 중대형 안테나, 소형 안테나, 소형 광대역 안테나들에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다. 중대형 안테나의 경우 주파수 대역에 맞는 일반적인 측정방법을 이용하면 된다. 하지만, 소형안테나의 경우 앞의 제 3장 제 2절에서 언급했듯이 안테나의 크기가 포지셔너의 크기보다 상대적으로 작은 경우는 포지셔너에 의한 반사파의 영향으로 정확한 측정이 어려워진다. 본 절에서는 연세대학교 전자파 무반사실을 이용한 소형안테나의 측정방법 및 측정 결과를 서술한다. 모든 포지셔너의 측들은 그림 2-4에서 나타낸 것과 같다.

1. Planar 슬롯 안테나 측정

그림 3-3은 일반적인 planar 슬롯 안테나 구조를 응용한 스트립 라인 급전 미앤더 슬롯 안테나를 보여준다. 같은 공진 주파수 (4.19 GHz)를 갖는 직사각형 마이크로스트립 안테나 보다 그 크기가 56% 작으며 미앤더 슬롯 부분의 크기는 16 mm x 10 mm, 접지면의 크기는 100 mm x 100 mm 이다. 스트립 라인 급전으로 인한 parallel plate waveguide mode를 줄이기 위하여 미앤더 슬롯 주위에 ground via를 이용하였으며, 안테나의 측정은 아래 부분의 SMA connector를 이용하여 이루어진다. 그림 3-3에서 안테나의 E-field의 측정은 yz 면을 측정해야한다. 접지면을 포함한 안테나의 크기가 포지셔너의 크기보다 작기 때문에 안테나의 z축을 송신 포지셔너와 일직선이 되도록 안테나를 포지셔너에 직접 고정시키고 측정하게 되면 (다)-축을 360도 회전시켜 측정하였을 때 포지셔너에 의한 반사파로 인해 정확한 복사패턴을 얻을 수 없다. 그러므로, 일반적인 중대형 안테나와는 측정 방법을 달리해야한다.

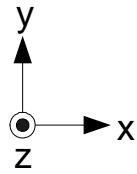


그림 3-3. Planar 미앤더 슬롯 안테나

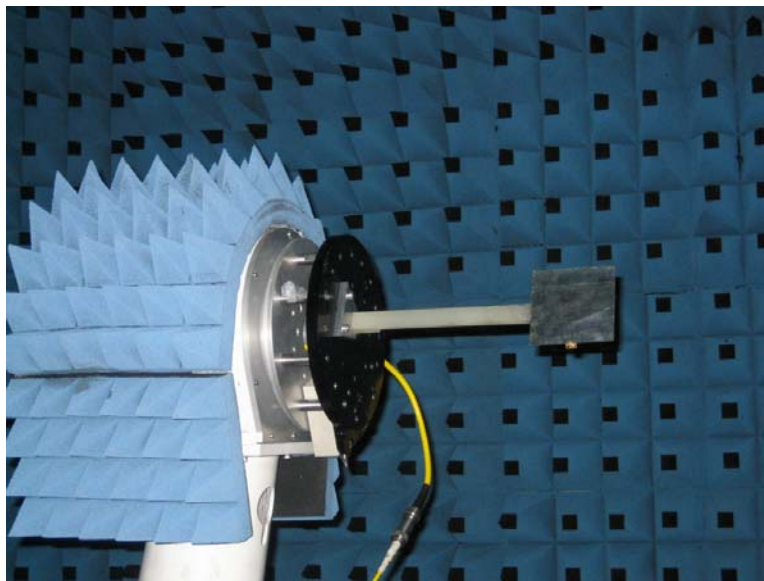


그림 3-4. 지그를 이용하여 포지셔너에 고정된 피측정 안테나

소형안테나의 경우 포지셔너에 의한 반사파를 최소화 하여야 하기 때문에 피측정 안테나가 설치되는 포지셔너의 (나)-축을 송신 안테나와 피측정 안테나가 놓이는 일직선상에서 놓이지 않도록 해야 한다. 이를 위해 포지셔너의 (다)-축을 90도 또는 -90도 이동시킨다. 이렇게 하면 피측정 안테나가 고정되는 면은 측면을 향하게 된다. 이때 피측정 안테나는 송신안테나와 일직선에 놓여야 하기 때문에 지그가 필요하다. 그림 3-4와 같이 지그를 이용하여 송신 안테나와 피측정 안테나의 z 축을 일직선상에 두고 복사 특성을 아래와 같은 방법으로 측정 한다. 물론 송신안테나 개구면의 중심과 피측정 안테나의 방사부의 중앙 부분이 일치 되어야 한다. (y 축은 무반사실의 윗면을 향한다.)

- 가. 포지셔너의 (나)-축을 360도 회전시켜 안테나의 E-plane co-polarization 특성을 측정한다.
- 나. (가)-축을 90도 회전시킨 후 ‘가’의 작업을 반복하여 E-plane cross-polarization을 측정한다.
- 다. 모든 포지셔너를 그대로 고정시킨 상태에서 피측정 안테나를 90도 회전시켜 지그에 장착한다. (y 축은 무반사실의 측면을 향한다.)
- 라. (나)-축을 360도 회전시켜 xz 평면을 측정한다. (H-plane co-polarization)
- 마. (가)-축을 -90도 회전시킨 후 ‘라’의 작업을 반복한다. (H-plane cross-polarization)

그림 3-5는 측정된 안테나의 E-plane의 측정결과를 보여준다. Broadside 방사패턴을 갖고 있고, 낮은 교차편파 레벨을 갖지만, 안테나 크기의 소형화로 인한 후방방사가 있음을 알 수 있다.

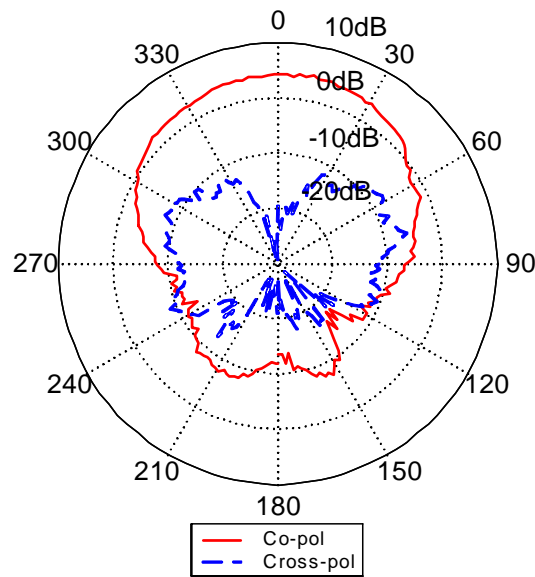


그림 3-5. 측정된 미앤더 슬롯 안테나의 E-plane 방사 특성.

2. 이중편파 DAB 안테나 측정 (CP antenna)

평판형태의 이중 편파 DAB (Digital Audio Broadcasting)용 안테나는 위성으로부터 송신되는 신호와 지상에서 송신되는 신호를 동시에 수신할 수 있어야 한다. 위성으로부터 전송되는 신호를 직접 수신할 수 있는 원형편파 수신부와 지상으로부터 전송되는 신호를 수신하는 선형편파 수신부가 결합되어 있는 구조이다. 위성과 LOS (line of sight)가 확보되면 원형편파신호를 수신하고, 위성파 신호를 수신하기 힘든 지하나 터널 등에서는 지상파를 수신한다.

그림 3-6은 측정에 사용된 안테나의 윗면을 보여준다. 안테나의 아랫면은 전체가 접지면이고 접지면의 중심부에 위성과 수신을 위한 이중급전 원형 안테나의 SMA connector와 지상파를 수신하기 위한 disk-loaded monopole 안테나의 SMA connector가 연결되어 있다. 제작된 안테나의 선형 및 원형편파 측정은 아래와 같은 방

법을 이용하여 측정한다.

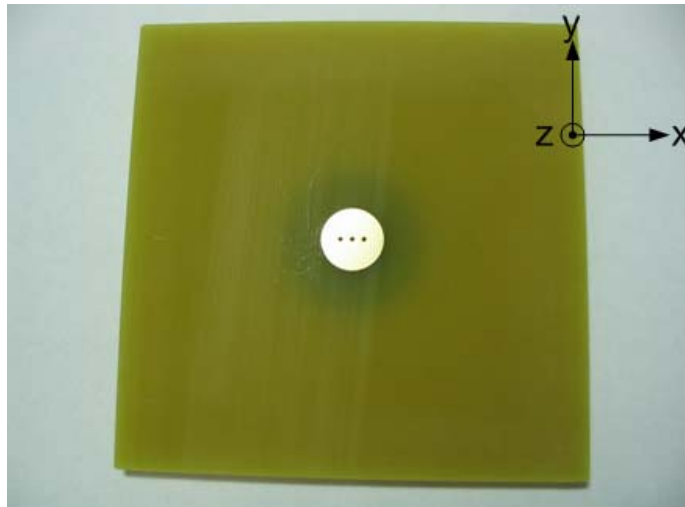


그림 3-6. 이중편파 DAB용 안테나

가. 선형 편파 안테나의 yz 평면의 방사 패턴을 측정.

(1) Co-polarization (실선)

- ① 그림 2-4의 (가)-축을 기준 안테나의 E 평면이 수평이 되도록 설치한다.
- ② AUT에 피측정 안테나를 z 축이 송신 안테나와 바라보도록 설치한다.
- ③ 포지셔너의 (다)-축을 360° 회전하여 측정한다.
- ④ 송신 안테나를 (가)-축으로 90° 회전시킨 후, ①~②의 과정을 반복한다.

(2) Cross-polarization (점선)

- ① (가)-축을 기준 안테나의 E 평면이 수직이 되도록 설치한다.
- ② ‘(1)’의 ②~④의 과정을 반복한다.

측정된 안테나의 방사패턴은 그림 3-7과 같다.

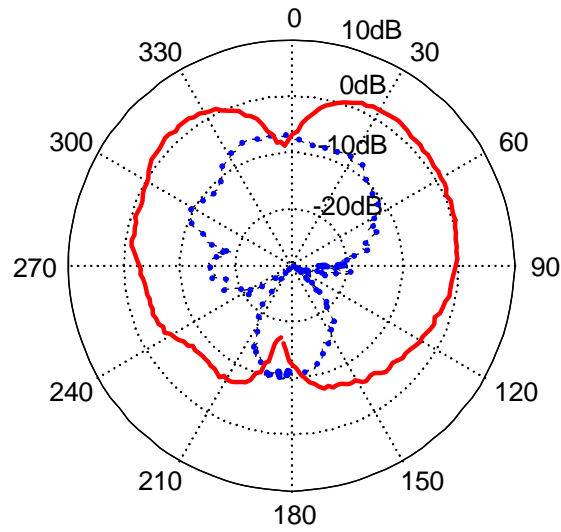


그림 3-7. 측정된 yz 평면의 방사패턴

나. 선형 편파 안테나의 xy 평면의 방사 패턴을 측정.

(1) Co-polarization (실선)

- ① (가)-축을 기준 안테나의 E 평면이 수평이 되도록 설치한다.
- ② 피측정 안테나를 z 축이 송신 안테나와 바라보도록 설치한다.
- ③ (다)-축을 90° 회전시킨다.
- ④ 포지셔너의 (나)-축을 360°회전시켜 측정한다.

(2) Cross-polarization (점선)

- ① (가)-축을 기준 안테나의 E 평면이 수직이 되도록 설치한다.
- ② ‘(1)’의 ②~④의 과정을 반복한다.

그림 3-8은 측정된 xy평면의 방사패턴을 보여준다.

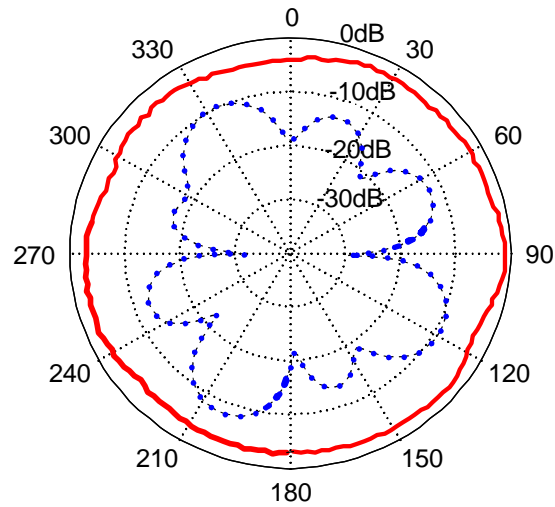


그림 3-8. 측정된 xy 평면의 방사패턴

다. 원형 편파 안테나 측정 방법 : yz 평면의 방사 패턴을 측정한다.

(1) 실선

- ① 피측정 안테나를 z 축이 송신 안테나와 바라보도록 설치한다.
- ② 포지셔너의 (다)-축을 360°회전하여 측정한다.

(2) 점선

- ② '가'의 측정 후 (가)-축을 90°회전한다.
- ③ '가'의 ②의 과정을 반복한다.

라. 원형 편파 안테나 축비 측정: 송신 안테나로 선형편파 안테나를 사용하고, 수신 안테나가 원형 편파인 경우 수평편파 송신인 경우와 수직편파 송신((가)-축을 90°회전한 경우)인 경우에 대해 각각 측정하고 이 두 결과(진폭과 위상성분 둘 다 포함)를 이용하여 수식으로 RHCP (우회 원형 편파) 및 LHCP (좌회 원형 편파) 성분을 계산한다. 이 측정을 통

해 바로 축비(Axial Ratio)가 계산된다. 그림 3-9는 측정된 CP 안테나의 방사패턴을 보여주고 있으며, 그림 3-10은 측정된 방사패턴을 이용한 축비의 결과를 보여준다.

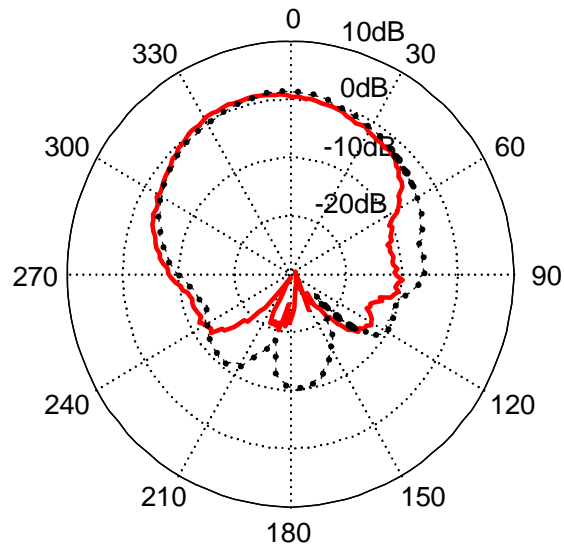


그림 3-9. 측정된 CP 안테나의 방사패턴

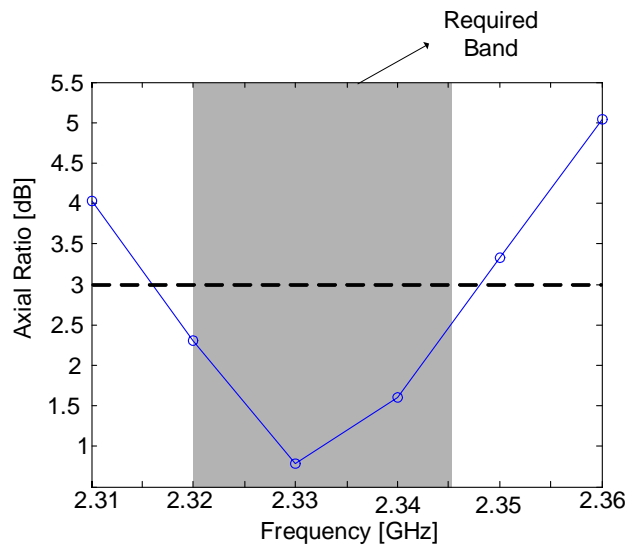
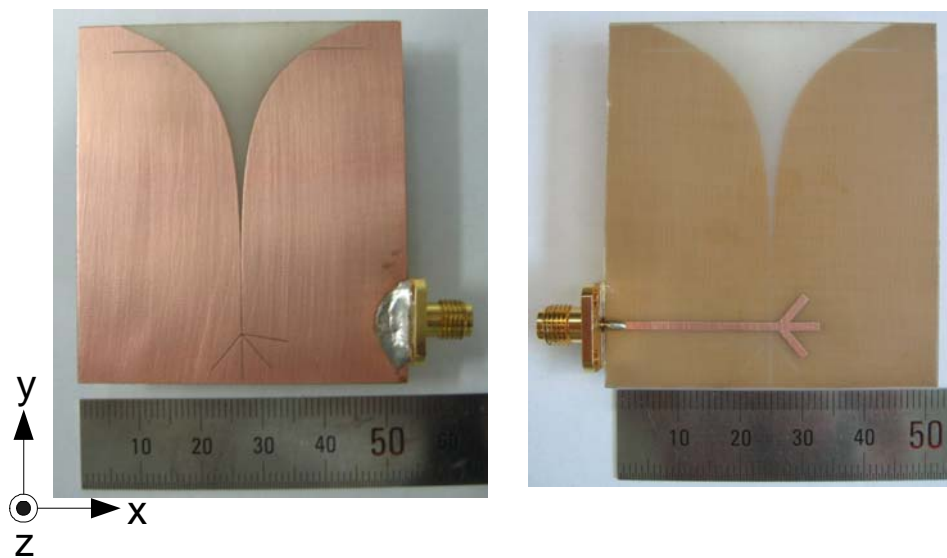


그림 3-10. 측정된 CP 안테나의 축비

3. UWB 안테나 측정

최근에 다중 주파수 대역에서 신호의 송수신이 가능한 UWB (ultra wide band) 안테나에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. 그림 3-11은 5 GHz 대역에서 대역 저지 특성을 갖는 테이퍼형 UWB 안테나를 보여준다. 그림 3-11 (가)와 (나)는 안테나의 윗면과 아랫면을 나타낸다. 안테나의 크기가 작기 때문에 이 안테나 역시 일반적인 안테나의 측정 방법으로 정확한 방사 패턴을 얻기 어렵다. 또한, UWB 안테나의 경우 다중 주파수에서 방사패턴을 측정해야 하는데, 각 주파수에서 안테나의 패턴을 측정하기 보다는 다중 주파수의 방사패턴을 한 번에 측정하는 것이 효과적이다. 테이퍼형을 갖는 UWB 안테나의 측정 방법은 다음과 같다.



(가) UWB 안테나의 윗면 (나) UWB 안테나의 아랫면

그림 3-11. 제작된 UWB 안테나

가. Co-polarization

- ① 그림 2-4의 (가)-축을 기준 안테나의 E 평면이 수직이 되도록 설치한다.
- ② AUT에 피측정 안테나를 y 축이 송신 안테나와 바라보도록 설치한다.
- ③ 포지셔너의 (나)-축을 360°회전하여 다중 주파수에서의 방사 패턴을 측정한다.

그림 3-12는 다중 주파수에서의 안테나의 co-polarization 패턴을 보여준다.

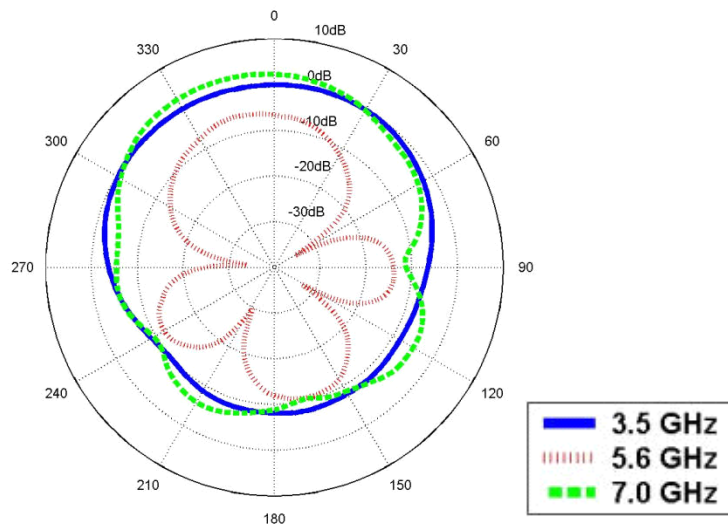


그림 3-12. UWB 안테나의 co-polarization 패턴

4. Compact 안테나 측정

가. Compact bow-tie shaped 미앤더 슬롯 안테나

5 GHz 대역 WLAN (wireless local area network)용 소형 통신 기기 개발을 위해 설계된 보우타이 형태의 미앤더 슬롯 안테나를

그림 3-13에 나타내었다. 차세대 통신 시스템이 요구하는 소형, 경량, 저가 통신 시스템에 적용할 수 있도록 설계 되었으며, 이 안테나는 접지면을 포함한 크기가 3 cm x 3 cm 로 그 크기가 아주 작다. 접지면의 크기가 포지셔너의 크기보다 상당히 작기 때문에 포지셔너에 의한 반사파 영향을 최소화 할 수 있도록 방사 패턴을 측정해야 한다. 그 측정 방법은 앞서 설명한 planar 미앤더 슬롯 안테나와 유사하다.

- (1) (다)-축을 90도 또는 -90도 회전 시킨 후 지그를 이용하여 안테나의 z 축이 송신 안테나를 바라보도록 고정 시킨다. (y 축은 무반사실의 윗면을 향하게 한다.)
- (2) 포지셔너의 (나)-축을 360도 회전시켜 안테나의 E-plane co-polarization 특성을 측정한다.

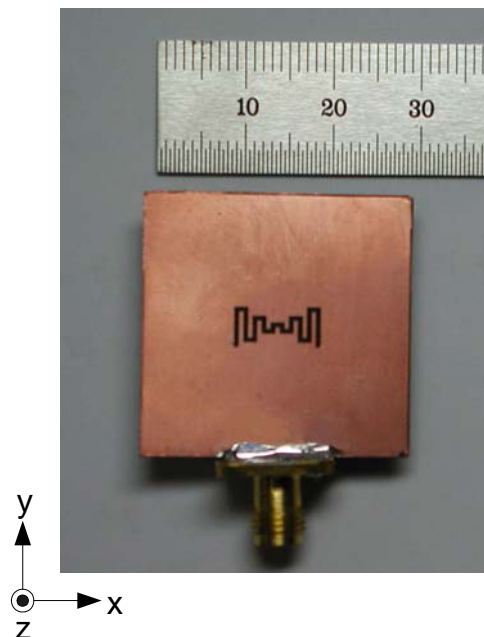


그림 3-13. 보우타이 형태의 미앤더 슬롯 안테나

- (3) (가)-축을 90도 회전시킨 후 ‘(2)’의 작업을 반복하여 E-plane cross-polarization을 측정한다.
- (4) 모든 포지셔너를 그대로 고정시킨 상태에서 피측정 안테나를 90도 회전시켜 지그에 장착한다. (y축은 무반사실의 측면을 향한다.)
- (5) (나)-축을 360도 회전시켜 xz 평면을 측정한다. (H-plane co-polarization)
- (6) (가)-축을 -90도 회전시킨 후 ‘(4)’의 작업을 반복한다. (H-plane cross-polarization)

그림 3-14는 측정된 보우타이 형태의 미앤더 슬롯 안테나의 E-plane co-polarization과 cross-polarization 방사 패턴의 특성을 보여준다. 일반적인 마이크로스트립 안테나와는 달리 후방 방사가 강함을 볼 수 있는데, 이는 마이크로스트립 급전 슬롯 안테나의 일반적인 방사패턴이다. 양방향 방사패턴을 갖기 때문에 이득은 마이크로스트립 패치 안테나 보다 낮다.

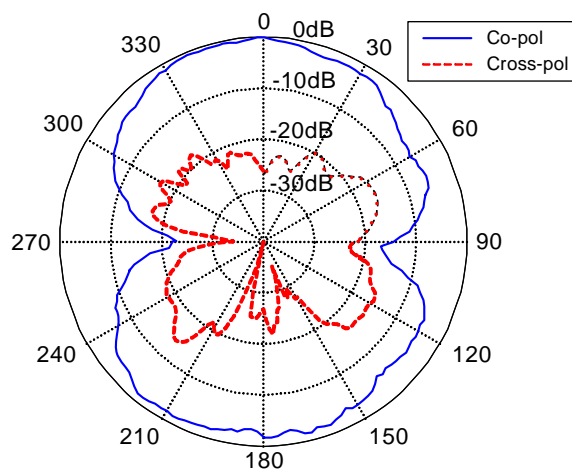


그림 3-14. 측정된 보우타이 형태의 미앤더 슬롯 안테나의 E-plane 방사패턴

나. 5 GHz 대역 package-level integrated LTCC 안테나

SIP (system in package), MCM (multi chip module), SOP (system one package) 등의 필요성이 증가됨에 따라 이에 대한 연구가 많은 대학 및 연구소를 중심으로 이루어지고 있다. 5 GHz 대역 및 수십 GHz 응용을 목표로 RF 소자들과 안테나가 집적화된 형태로 초소형 RF 시스템을 개발하는 것이 근본적인 목표이다. RF 소자 및 안테나의 소형화 한계와 시스템 집적화에 많은 어려움이 있지만, 머지않아 실현될 수 있을 것으로 보인다.

그림 3-15는 패키지에 집적화된 초소형 안테나를 보여준다. 패키지의 상부에 planar 안테나를 집적하였으며 패키지의 크기는 1 cm x 1 cm x 0.2 mm 로 하였다. 초소형 시스템으로 적용을 목표로 하기 때문에 접지면의 크기를 2 cm x 2 cm 로 하였고, 안테나는 5 GHz 대역에서 동작 되도록 설계되었으며 그 크기는 1 cm x 1 cm 이다. 안테나의 급전은 접지면의 아래쪽에 위치한 마이크로 스트립 라인으로부터 이루어진다. 이 마이크로 스트립 라인은 비아를 통해 안테나와 직접 연결되어 있다. 또한 안테나 방사체와 접지면 사이에는 RF 소자들을 집적할 수 있는 0.8 cm x 0.8 cm x 0.07 cm 의 공간이 존재한다. 위와 같은 복잡한 형태의 공정을 가능하게 하기 위하여 LTCC (low temperature co-fired ceramic) 공정을 이용하여 안테나를 제작하였다.

위와 같은 안테나는 그 동작 주파수가 높아지고, 안테나의 크기는 상대적으로 작아지기 때문에 측정에 많은 주의를 요하게 된다. 특히, 안테나의 소형화로 인한 방사효율과 이득의 감소로 인해 수신 신호의 레벨이 낮아 질 수 있다. 안테나의 방사패턴을 측정하기 위한 방법은 앞서 이야기한 보우타이 형태의 미앤더 슬롯 안테나와 유사하다. 마이크로 스트립 라인의 끝부분에 SMA connector를 연결한 후 지그를 이용해 포지셔너에 고정 시킨 후 아래와 같은 방법으로 측정한다.

- (1) (다)-축을 90도 또는 -90도 회전 시킨 후 지그를 이용하여 안테나의 z 축이 송신 안테나를 바라보도록 고정 시킨다. (y 축은 무반사실의 윗면을 향하게 한다.)
- (2) 포지셔너의 (나)-축을 360도 회전시켜 안테나의 E-plane co-polarization 특성을 측정한다.
- (3) (가)-축을 90도 회전시킨 후 '(2)'의 작업을 반복하여 E-plane cross-polarization을 측정한다.

그림 3-16은 측정된 안테나의 E-plane co-polarization 방사패턴을 보여준다.

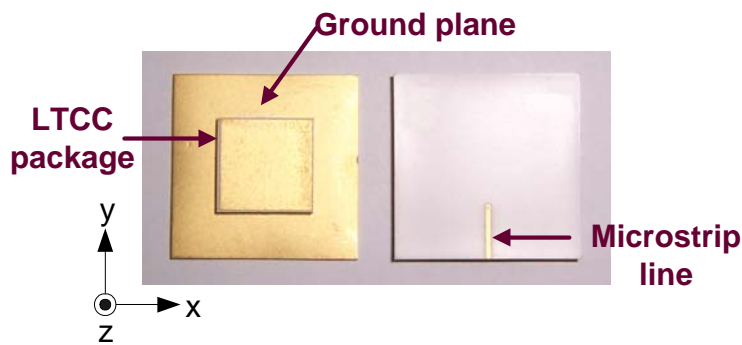


그림 3-15. Package-level integrated LTCC 안테나

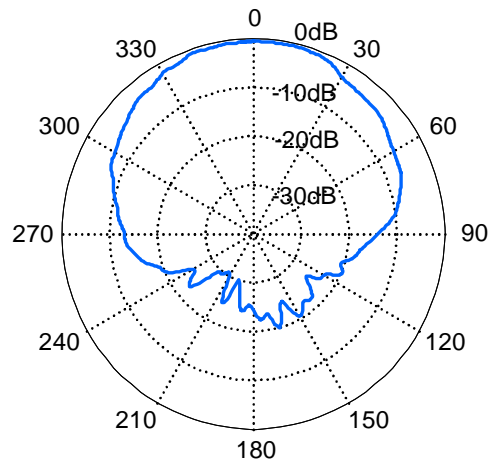


그림 3-16. 측정된 LTCC 안테나의 방사 패턴 (E-plane co-pol.)

그림 3-17은 또다른 형태의 패키지에 집적된 안테나를 보여준다. 안테나의 E-plane 및 H-plane의 방향이 그림 3-15의 안테나와 같기 때문에 CPW 라인의 끝 부분에 SMA connector를 연결하고 그림 3-15의 안테나와 같은 방법으로 E-plane co-polarization과 cross-polarization을 측정하였으며, 그 측정 결과를 그림 3-18에 나타내었다.

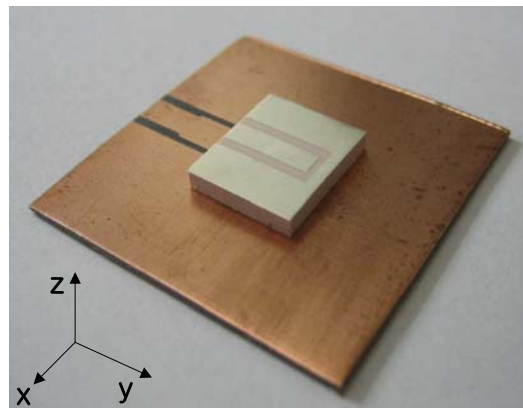


그림 3-17. Package-level integrated modified U 슬롯 안테나

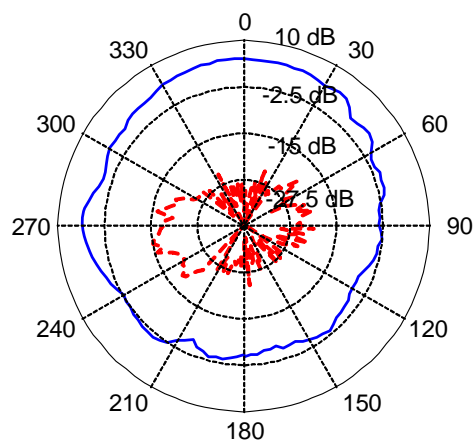


그림 3-18. 제작된 안테나의 E-plane 방사패턴

제 4 장 휴대 단말기 안테나 측정 기술

제 4 장 휴대 단말기 안테나 측정 기술

제 1 절 휴대 단말기 안테나 인증제도

현재 국내와 해외의 많은 업체들에서 휴대 단말기를 생산 판매하고 있다. 휴대 단말기들은 전자파를 이용하는 장비이기 때문에 엄격한 규제들이 존재한다. 특히, 전자파를 송신하고 수신하는 안테나의 특성은 정확한 측정과 인증 절차를 거친다. 이러한 휴대 단말기용 안테나들을 인증하는 제도는 CTIA 인증 프로그램 (Cellular Telecommunications & Internet Association Method of Measurement for Radiated RF Power and Receiver Performance) 이 대표적이다. IEEE-STD-149-1970 규정에 의한 안테나 측정에 관한 표준 자료가 있지만, 국내 및 해외의 대부분 업체들은 자사의 휴대 단말기용 안테나의 성능을 인증 받을 때는 CTIA의 인증 프로그램을 이용한다. CTIA에서 인증을 받은 측정실에서 안테나의 성능을 인증 받은 후 비로서 실제 제품에 이용하게 된다. 자사의 휴대 단말기 안테나 성능을 위하여 사업자별로 측정에 관한 spec.을 갖고 있지만 이는 자사의 휴대 단말기 안테나의 성능 측정에만 이용된다.

전파연구소에 설치될 Mobile phone antenna measurement system은 CTIA가 제시한 측정 방법으로 휴대 단말기 안테나의 성능을 측정할 수 있다. 완공 후 CTIA의 인증을 받는다면 전파연구소 측정 시스템을 이용한 휴대 단말기 안테나의 성능 측정이 가능해 진다. 본장의 제 2절에서는 CTIA 인증 프로그램에 명시된 휴대 단말기 안테나 성능 인증을 위한 무반사실 요구 조건과 안테나의 송신 및 수신 성능 측정 방법에 대해서 소개하고 제 3장에서는 전파연구소에 설치될 휴대 단말기 안테나 측정 시스템에 대해 알아보도록 하겠다.

제 2 절 CTIA 인증 휴대 단말기 안테나 측정 기술

1. 측정 범위

오늘날 네트워크에서 효과적인 방사 성능은 이동국의 효율적인 동작에 매우 중요한 요소가 된다. 휴대 단말기는 점차 작아지기 때문에, 안테나의 방사 성능은 자주 절충되어야 한다. 예를 들면, 작은 크기로 셀룰러와 PCS 주파수 대역에서 동작하는 효율적인 안테나를 만드는 것은 매우 어려운 일이다. 방사 특성에 대한 포괄적이고 정확한 특성은 제조자나 사용자가 얼마나 휴대 단말기가 어떤 특정한 셀룰러 망 설계의 제한 내에서 잘 동작되고 있는지를 결정할 수 있게 해 준다.

일반적으로 EIRP(유효등방성 방사전력)의 최고치는 현장에서 이동국의 좋은 수치가 아니다. 예를 들면, 이동국 안테나 시스템의 방사 패턴이 매우 높은 지향성이라면, EIRP의 최고치는 매우 높지만 다른 방향에서는 좋지 않다. 왜냐하면, 어떤 셀룰러 환경에서든, 사용자가 좋은 통화 성능을 얻기 위해 안테나의 지향성이 어느 특정 방향에 있지 않도록 안테나 시스템이 미치는 공간 범위를 최대화 시키는 것이 가장 좋은 방법이기 때문이다.

더욱이 사람 두부(머리와 목)는 EUT 방사 패턴의 최고치와 형태를 변화시킬 수 있다. 이러한 두부에 의한 손실은 주파수, 장치의 크기 그리고 사용된 안테나 설계에 따라 크게 달라질 수 있다. 따라서 전자장 성능 면에서 보면, 두부 모델위에서 EIRP의 첨두치와 평균을 측정하는 것이 자유공간 조건하에서 EIRP 첨두치를 측정하는 것보다 더 의미가 있다. CTIA 시험 계획안은 구좌표계에서 측정된 유효등방성 방사 전력(TRP : Total Radiated Power, 총 방사전력이라는 용어사용)을 요구한다.

수신 성능은 송신 성능과 함께 전체 시스템의 성능을 결정짓는 중요한 요소이다. 다운 링크 또는 가입자 장비의 수신 경로는 장

치 동작의 품질에 매우 중요한 조건이다. 나쁜 수신기 방사성능은 가입자 장치 사용자가 품질 나쁜 음성 신호를 듣게 하는 원인이 되며, 또한 가입장치가 기지국 신호를 수신하지 못하는 현상의 발생으로 인해 갑작스런 통화 절단을 불러일으킬 수 있다. CTIA 시험 계획안은 구좌표계에서 측정된 수신감도(TIS : Total Isotropic Sensitivity, 총 등방성 민감도라는 용어사용)를 이용한다. 단일 채널이나 몇 개의 채널 내에서의 수신 감도가 떨어지는 것은 밴드내의 잡음, 송신기에서 바로 수신기 안으로 다시 들어가는 가상 불요파(spurious) 신호들에 의한 것이다. 수신 감도는 특정 EUT에서 허용하는 최고 출력으로 조정된 송신기와 기술 조합으로 측정되어 진다.

여기서 정의한 절차들은 a) 측정을 위해 사용된 시험실험실(Test Chamber) 고유의 성능을 평가하는 것과 b) 최종 EIRP(TRP로써) 및 이동국(자유공간에서 그리고/또는 승인된 곳에서 두부팬텀(head phantom)을 가지고 이동 성능을 측정하기 위해)을 위한 수신기 성능(TIS) 측정을 설명하는 것, 그리고 c) 측정에 관련된 불확실성을 계산하기 위한 방법을 상술하는 것이다.

가. 송신기로서의 이동국 성능 측정

장비 주위의 여러 곳에서 이동체의 방사송신 전력을 표본화하여 측정하려는 장비(EUT)의 RF 방사성능을 측정한다. 공간을 이동하여 얻어진 측정 자료를 분석함으로써 EUT의 ‘송신’ 성능을 3차원으로 특성화할 수 있다. 켄타(θ :theta)와 파이(Φ :phi)축 방향에서 매 15도씩 변화하여 얻어진 자료들은 EUT의 총 방사 전력과 원격장(far field) 방사패턴을 특성 짓는 데 충분하다. θ 가 0도와 180도 일 때 측정이 이루어지지 않기 때문에 위와 같은 측정은 각 편파에 대한 264번의 측정이 필요함을 설명한다. 모든 측정된 전력 값은 총 방사 전력(TRP)으로 불려지는 성능지수로 통합한다.

나. 수신기로서의 이동국 성능 측정

측정하려는 장비(EUT)의 수신 성능은 비트에러율(BER: Bit Error Rate) 또는 프레임 삭제율(FER : Frame Erasure Rate)을 이용하여 측정한다. 이 시험 특징은 각 공간상의 측정 위치에서 유효 방사 수신 감도를 평가하기 위해 적절한 디지털 에러율을 사용하는 것이다. 공간을 이동하여 얻어진 측정 자료를 분석함으로써 EUT의 수신 성능을 3차원으로 특성화한다. 쉼타(θ :theta)와 파이(Φ :Phi) 축 방향에서 매 30도씩 변화하여 얻어진 자료들은 EUT의 수신 감도를 특성 짓는 데 충분하다. 쉼타가 0도 180도 일대 측정이 이루어지지 않기 때문에 위와 같은 측정은 각 편파에 대한 60번의 측정이 필요함을 설명한다. 각 EUT 시험 조건을 위해 측정된 모든 감도값은 총등방성감도(TIS : Total Isotropic Sensitivity)로 불려지는 성능지수로 통합한다.

EUT를 조정하는 특별한 절차가 없다면, 어떤 디지털기술 그리고/또는 EUT는 디지털 에러율 측정함을 허락하지 않을 수 있다. 이런 경우에는, 외부케이블이나 수동 시험 명령들을 단지 장치설비를 위해서만 EUT에 적용할 수 있다. 데이터를 수집하는 동안에는 모든 케이블은 제거되어야만하고 EUT는 독립된 전원모드에서 동작되어야만 한다.

다. 이동국 측정 - 일반

EUT를 스캔하는 방법 중에 수용할 수 있는 두개의 방법은 다음과 같다.

- (1) “원뿔” 스캔법 : 여기서는 EUT를 장축으로 회전하면서 측정 안테나를 회전 시 EUT의 위아래 양쪽 모두 몇 개의 동선을 갖고 이동시킨다.(단일 측정 안테나를 이용하는 시스템인 경우 기계적으로든, 다중 측정안테나를 사용하는 경우에는 전기적으로든) 그림 4-1은 자유공간에서원뿔 스캔 구성을 사용하기 위한 대표적인 설치 예를 보인 것이다. 이 구성에서 파

이와 켄타 각도는 시험실안의 개별적인 위치제어기에 의해 움직여야 한다.

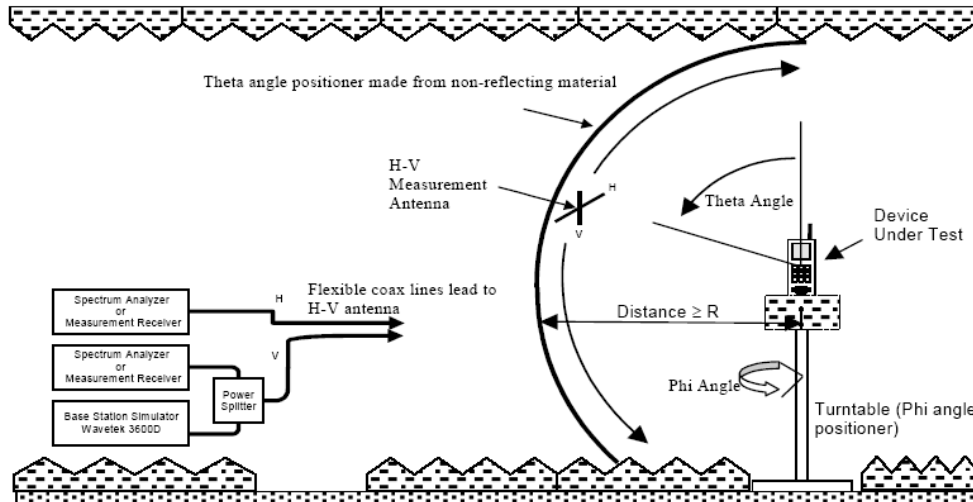


그림 4-1. 원형 스캔의 대표적인 설치 - 자유공간

(2) "큰원"스캔법 : 여기서는 측정 안테나를 고정시키고 EUT를 순차적인 순서로 두개의 축을 중심으로 회전시키는 방법이다. 그림 4-2는 자유공간에서 원형 스캔 시스템을 이용하기 위한 대표적인 설치 예를 나타낸 것이다. 그려진 켄타 축회전 이외에, 이동국은 전체 구좌표에서 측정할 수 있도록 Z축(파이축)으로 회전시킬 수 있어야 한다.

원뿔스캔법이나 큰원스캔법 모두에서, EUT의 장축에서의 양각각도는 켄타라고 하고, EUT의 방위각은 파이라고 한다. 회전판 축은 큰원스캔법에서는 켄타축을 따라 측정하고, 원뿔스캔법에서는 파이축을 따라 측정한다.

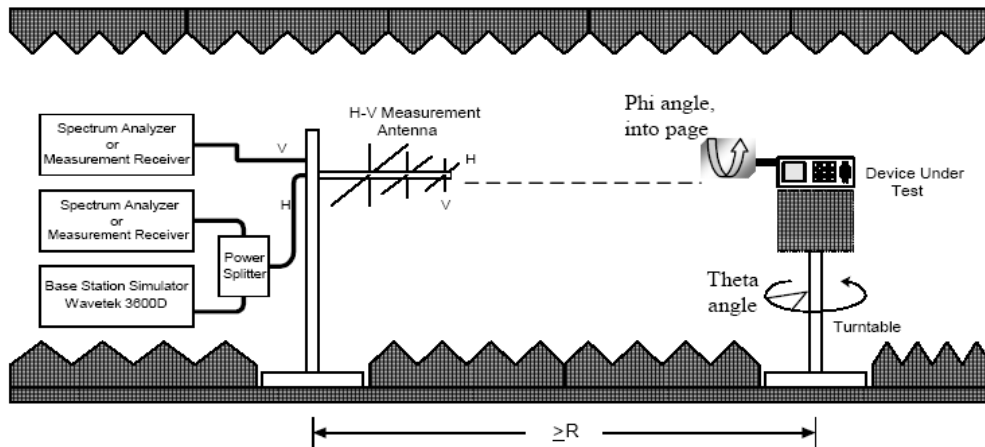


그림 4-2. 큰원 스캔의 대표적인 설치 - 자유공간

다른 순서로 데이터가 모아졌지만, 결과적으로 얻어진 데이터는 같은 (θ, ϕ) 를 갖는 점에서 측정된 것이며 같은 방법으로 처리된다. 측정 안테나는 두 편파(두개의 직교 선형 편파 : 세타편파와 파이 편파)를 측정할 수 있어야 한다. 이들 두 편파는 피측정장비의 회전과 동시에 측정할 수 있거나 순차적인 회전으로 측정할 수 있다.

이들 두 측정 방법은 개별적으로 사용할 수 있고, 또는 표본화한 스캔 데이터 일부분을 같이 사용할 수 있다. 피측정장비 각각에 대한 시험 보고서를 교부하기 위해서 데이터들은 측정하는 동안 모으고 저장한다.

시험대상 장비 형태에 따라, EUT가 회전판에 바로 놓인 “자유공간” 시험구성 그리고/또는 EUT가 SAM 두부 팬텀에 놓인 “모의사용(Simulated-use)” 시험구성에서 측정은 이루어진다. “모의공간” 측정 결과는 EUT를 팬텀 귀 왼쪽이나 오른쪽 사이에 위치시킴으로써 얻을 수 있다. 결과적으로 이 시험 계획안은 EUT가 양쪽 귀에 위치했을 때의 성능 측정을 요구한다. 측정 변화성은 팬텀 안에 있는 유동액 양에 의해 발생하기도 한다. 특히 팬텀이 수평에 위치하고 있을 때(큰원스캔). 측정 불확실성을 최소화하기 위

해서는 팬텀 안을 완벽하게 유동액으로 채워 팬텀 내에 공기방울을 제거해야한다. 자유공간 측정을 위해 회전 중심이 EUT의 체적 중심에 있어야하는 큰원스캔법으로 팬텀을 측정할 때 그리고 SAM 두부팬텀 시험을 위해서는 귀 기준점에 있도록 해야 할 때, 이점을 특별히 주의해야한다.

다른 별도의 사양에 영향이 무시할 정도가 아니라면, 시험은 가능한 모든 EUT 구성(즉, 배터리 팩 구성, 하우징 구도)에 대해 실행해야 한다. 어느 선택사양이 “기준선” 구성을 나타내는 지를 정의하는 것 그리고 나머지 선택사양에 대해 시험을 축소시킬 수 있는 적절한 입증 데이터를 제공하는 것은 제조업자의 책임이다.

라. 원뿔 스캔법

그림 4-3은 팬텀이 있을 때 원뿔 스캔의 대표적인 설치를 보여준다. 원뿔 스캔법은 단일 측정 안테나를 사용하면서 EUT의 쉼타 평면(머리 위)에서 물리적으로 회전 할 수 있는 측정 안테나를 필요로 한다. 여러 측정 안테나를 사용하는 시스템에 대해서는, 쉼타 평면에서 회전은 전기적으로 다른 안테나를 선택하여 구현할 수 있다. EUT로부터 15도씩 데이터를 얻기 위해서는 11개의 원뿔 자른 평면이 필요하다. 반면에 30도씩 간격으로 한다면 단지 5개가 필요하다. 꼭대기(0도)와 바닥(180도)으로 스캔한 평면은 측정하지 않기 때문이다. 일반적으로 EUT는 측정 과정 동안 회전판에 고정되어 있다. 측정 안테나는 시작하는 쉼타 각도에 위치한다. 그리고 EUT는 파이 방향으로 360도 회전 할 것이며, 측정 안테나는 다음 쉼타 각도로 움직인다. 이와 같은 과정을 되풀이 한다.

방사 송신 전력과 수신 감도 측정은 EUT의 재위치 지정에 따라 발생하는 측정 불확실성을 줄이기 위해 E쉼타와 E파이 두 편파를 동시에 기록해야 한다. EUT는 기지국 모의장치로 메시지를 보냄으로써 수신대역에서 측정한 전력을 기록한다.

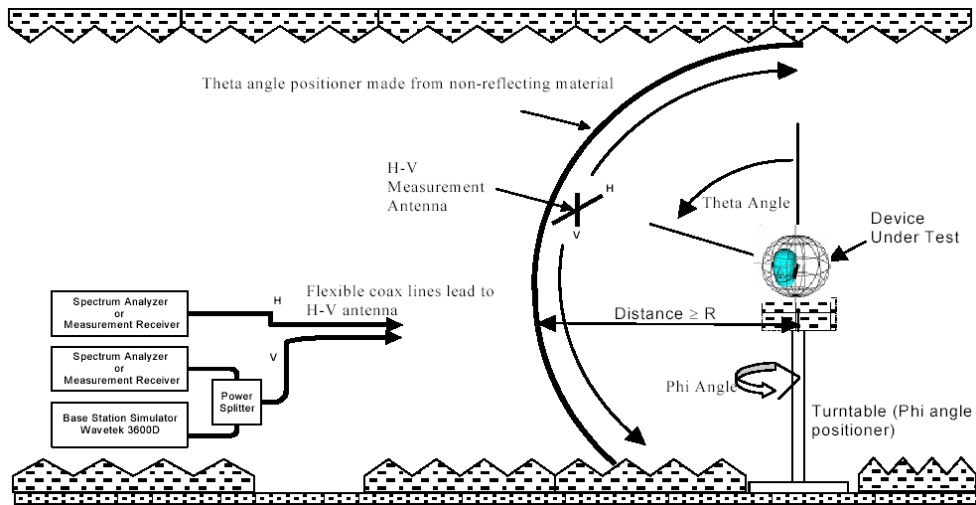


그림 4-3. 팬텀이 있을 때 원뿔 스캔의 대표적인 설치

마. 큰원 스캔법

그림 4-4는 팬텀이 있을 때 큰원 스캔의 대표적인 설치를 보여 준다. 그림 4-5는 큰원스캔법 시스템에서 이용되는 자른 면 모양이다. 자른 모양은 쉼타 회전면이다. 수직 원판은 회전선(원판과 직교한다)에 있는 30도 점들을 나타낸다. 측정은 수직 원판과 회전선이 교차하는 곳(쉼타가 0 그리고 180도인 극점을 제외하고)에서 수행된다.

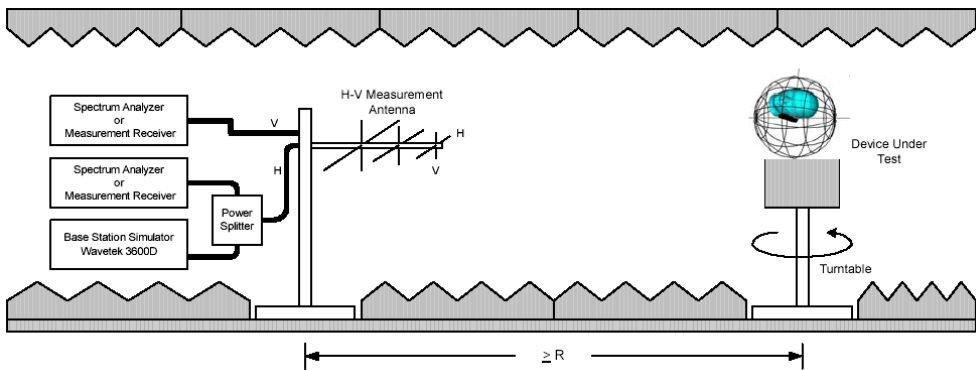


그림 4-4. 팬텀이 있을 때 큰원 스캔의 대표적인 설치

그림은 30도 TIS측정에만 관계된 격자점에 대한 그림이다. TRP 시험에서는 격자점들이 15도 간격이기 때문에 측정점들의 격자가 자연적으로 더 촘촘해진다. 그림 4-5는 측정점들이 극점에 모여 있음을 보인다. 이런 측정점들의 모임 때문에 측정 데이터는 사인 함수($\sin(\)$)로 가중치를 해야 한다. 그래서 측정점들이 구면에 균일한 밀도로 있어야 하는 조건을 만족시켜야 한다. 결과적으로 쉼타가 0과 180도에서는 $\sin(\)$ 값이 0이기 때문에 이 두 각도에서는 측정점이 없다.

그림 4-5에 포함되어 있는 것은 아래와 같다.

- (1) 두부방향(머리는 수평이고 양각 평면에서 회전하는 것이 필수이다) 그리고
- (2) 시험 귀에 가까운 중심으로 쉼타축이 회전함으로써, 머리가 좌표계의 중심에서 얼마나 떨어져야 하는지.

두부의 수평면과 양각에서 회전하는 면에서 큰원 스캔법은 원뿔 스캔법 측정 시스템에서 측정점과 같은 점(쉼타, 파이)에서 측정할 것이다.

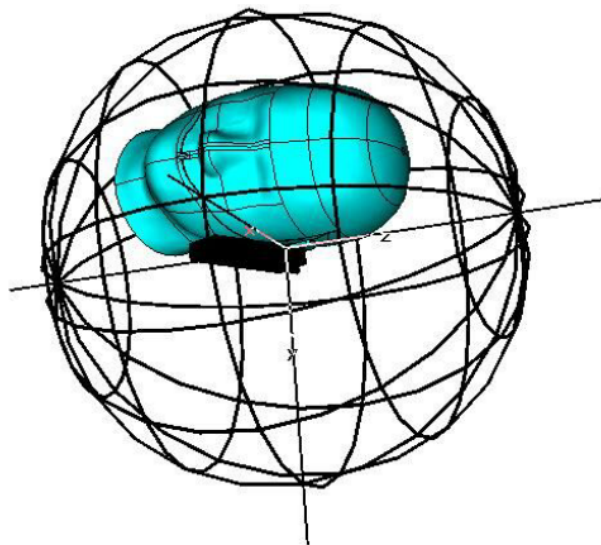


그림 4-5. 큰원 스캔법과 측정점 (30도 격자인 경우)

TIS시험에서, 3차원 구를 완벽하게 측정하기 위해서는 6개의 큰 원 자른 면이 필요하다. 이들을 다음과 같이 부른다. T0, T30, T60, T90, T120 그리고 T150여기서 T0는 처음 스캔을 시작하는 면이고 접지면과 가까운 두부의 수평면을 측정하기 위한 면으로 정의한다. 그림 4-6은 T0면을 나타낸 것이다. TRP시험에서, T0는 같은 면이어야 하지만 15도씩의 격자가 주어져야 한다. 자른면들은 각각 T0, T15, T30, T45, T60, T75, T90, T105, T120, T135, T150 그리고 T165이라고 한다. 이들 쉼타면으로 자른 면들을 혼합하면 안테나 패턴과 성능을 3차원으로 볼 수 있다.

그림 4-6에서 보여준 T0면은 시험 귀 위쪽의 측정 면이 포함되지 않도록 주의 깊게 선택해야한다. 왜냐하면 두부 안에 형성된 공기방울로 인하여, 이 면은 잘못된 결과를 줄 수도 있기 때문이다. SAM두부팬텀이 잘 놓여 있는지와 공기방울 크기에 대한 엄격한 제한이 부여됐는지를 확인하는 정기적인 관리 절차가 제공된다면, T0,T150과 T160어느 면도 공기방울의 있음으로써 영향을 받지 않을 것이다. 유동액 상태를 매주 검사할 것하고 모여 있는 어떤 공기방울도 평면접시에서 측정 했을 때 지름이 1인치를 초과하지 않도록 하는 것을 제안한다.

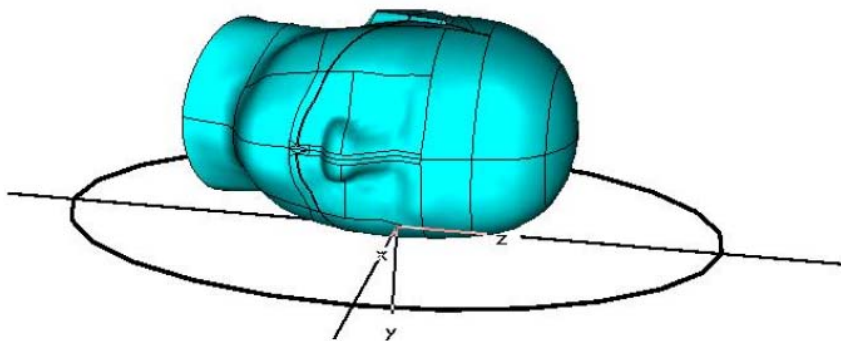


그림 4-6 큰원스캔법의 스캔면

가능한 곳이라면, 방사 송신 전력과 수신감도 측정은 EUT를 재 위치 시킬 때 발생하는 측정 불확실성을 줄이기 위해, E_썬타와 E_파이 둘 다 동시에 기록해야한다. EUT는 기지국 모의 장치로 메시지를 보냄으로써 수신대역에서 측정한 FER(달리하면 BER)을 기록해야 할 것이다.

2. 시험장소 특성 및 무반사 영역 정밀도

여기에서는 충분한 무반사 영역 성능을 보증하는 절차에 대해 알아보기로 한다. 이 절차는 무반사실 내에서 반사에 의한 전자계 측정에서 변화를 특정 짓기 위해 필요하다. 이 시험은 구조물 지지대 및 회전기를 포함한 모든 시험시스템을 특정짓도록 만들어 졌다.

시험 절차는 원하는 균일장영역내에서 여러 위치와 방향에서 매우 대칭적인 다이폴들과 루프들의 방위각으로 스캔한 면의 패턴을 측정한다. 완벽한 원형(리플: ripple)으로부터 이러한 자른 면의 패턴을 얻는 것은 통계학적인 분석을 통해 측정 불확실성을 결정하는 데 사용된다. 탐침 안테나의 대칭성은 매우 중요하기 때문에 대칭성을 확인하는 절차도 규정돼야 한다.

가. 최소측정 거리

원격장 거리 시험 장소에서 규정하는 최소 측정 거리 R에 대해 설명한다. 측정 거리는 EUT의 회전 중심에서부터 측정 안테나의 면 중심까지로 정의한다. 최소 측정 거리를 표 4-1에 나타내었다.

표 4-1. 최소 측정 거리

주파수 대역	최소측정 거리 R, [미터]
Cellular (824 894 MHz)	1.09
PCS (1850 1990 MHz)	1.19

시험 장소는 모든 시험과 이 시험 계획안에서 기술한 인증 절차를 위해 규정된 최소측정거리를 확보해야 한다. 이들 거리는 이 시험 계획안 목적을 위해 원격장에서 측정하는 데 필요한 최소 거리들이다. 이것들은 각 밴드 내에 정통적으로 3개의 원격장 기준을 바탕으로 엄격하게 선택한다. 이들 기준은 측정 거리는 가장 큰 $2D^2/\lambda$ (위상불확실성 한계), $3D$ (크기 불확실성 한계), 그리고 3λ (리액티브 근거리 장 한계) 보다 커야 한다는 것을 나타낸다. 여기서 D 는 방사체의 지름이고, λ 는 원하는 주파수 밴드에서 자유공간상의 파장이다.

자유공간 시험에 대해, D 는 무조건 EUT의 가장 큰 지름이지만, 팬텀 시험을 위해서는 팬텀의 부분을 D 에 포함된다. 이 시험 계획안 목적을 위해, D 는 TRP 또는 EUT의 TIS를 결정하기 위해 중요한 역할을 하는 팬텀 부분의 크기에서 정해야 하며 300 mm로 선택한다. 단지 참고적으로 이 계산에 대한 자세한 것은 아래 표 4-2에 주어졌다.

표 4-2. 최소 측정거리 산출 (참고용)

밴드	가장 낮은 주파수	가장 높은 주파수	가장 낮은 파장	가장 높은 파장	_____			엄격한 기준
셀룰러	824	894	0.36	0.34	0.54	0.90	1.09	1.09
PCS	1850	1990	0.16	0.15	1.19	0.90	0.49	1.19

향후 새로운 주파수 밴드를 추가하고자 한다면 같은 방법으로 원격장 기준을 계산하면 된다. 근거리장 측정 기법은 바로 얻어진 크기와 위상 데이터를 가지고 적절한 수학적 작업을 통해, 여기에서 설명한 것 보다 더 짧은 거리에서 수행하는 정확한 측정을 하는 것이다. 이와 같은 시스템이 관련 변조 방법에 대한 TIS측정이나 TRP에 대해서 증명되었을 때, CTIA에서 이 시험계획을 포함하는지를 고려할 수 있다.

나. 필수장비

부록 F에서 대칭 안테나에 대한 자세한 설명을 찾을 수 있다.

- (1) 무반향실과 구좌표로 회전하는 시스템에 대한 특징. 시험을 위해서는 무반향실은 측정 안테나가 최소한 EUT로부터 R (시험할 주파수에 대해 표 4-1에 설명한 최소 측정 거리)만큼 떨어질 정도로 커야 한다. 그리고 시험장소는 기준에 맞도록 간섭이 없어야 한다. 이 방법은 요구한 패턴 시험에 사용되는 다양한 위치제어 시스템의 영향을 특징짓는 데에도 사용할 수 있다. 그러나 시험 영역으로 매우 심각한 양의 방사나 흡수가 되는 모양은 피하는 예방조치를 취해야 한다. 이런 시스템은 시험 목적을 벗어나고 측정 결과에 매우 심각한 에러를 발생시킬 수 있다.
- (2) 방위각 평면 패턴에서 비대칭정도가 ± 0.1 dB 보다 작은 셀룰러 밴드의 슬리브 다이폴 탐침 안테나
- (3) 방위각 평면 패턴에서 비대칭정도가 ± 0.1 dB 보다 작은 셀룰러 밴드의 표준 루프 탐침 안테나
- (4) 방위각 평면 패턴에서 비대칭정도가 ± 0.1 dB 보다 작은 PCS 밴드의 슬리브 다이폴 탐침 안테나
- (5) 방위각 평면 패턴에서 비대칭정도가 ± 0.1 dB 보다 작은 PCS 밴드의 표준 루프 탐침 안테나
- (6) 위치 제어 프로브 안테나를 위해 유전율이 작은 지지대 구조(예를 들면 스티로폼 : Styrofoam)
- (7) 측정 안테나(들)(예를 들면: 안테나 측정에 사용된 혼 또는 다이폴)
- (8) 네트워크 분석기 또는 신호 발생기/측정 수신기

이 측정 방법의 목적을 위한 비대칭 사양은 패턴이 완전한 원에서 ± 0.1 dB (0.2 dB 첨두치에서 영점까지) 보다 더 벗어나지 않는

한 더욱 자세하게 기술할 수 있다. 케이블과 급전점을 측정 시 상호작용을 최소화시킬 수 있도록 배열할 수 있기 때문에 슬리브 안테나나 중앙급전 밸런스 루프 안테나들을 추천한다. 안테나의 이득과 효율은 크게 중요하지 않다. 왜냐하면 측정방법은 측정실내에서 반사에 의한 피측정 안테나의 패턴 편차를 결정하고자 하기 때문이다.

다. 시험 주파수

균일장영역 정밀도를 위한 시험에 사용되는 주파수들

가. Cellular-band: $836.5 \text{ MHz} \pm 1 \text{ MHz}$

나. PCS-band: $1880 \text{ MHz} \pm 1 \text{ MHz}$

라. 용어 및 좌표계

이 시험 절차는 어떤 시험시스템에서도 같은 결과를 도출하기 위해 포괄적으로 사용한다. 첫 번째 목적은 실용성 있게 많은 방향에서 무반사영역에 적합하도록 하기 위함이다. 그림 4-7에서 보인 것처럼 전형적인 구좌표계부터 시작하면, 파이축은 z축 주위로 정의한다. 이것을 EUT좌표축에서 보면, 파이축 회전자에 바로 연결된 EUT로 가정하는 것과 같다. 그런 다음 파이축이 회전할 때, 켄타축 방향이 EUT에 대해 변한다. (그림 4-7 b)

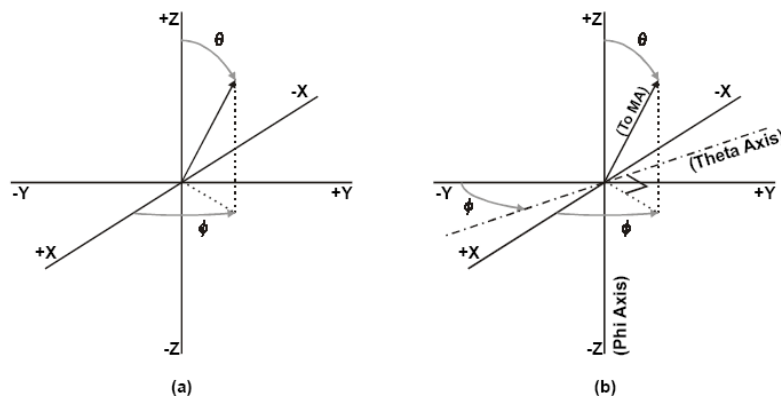


그림 4-7 구 좌표계

구좌표계의 정의와 관련하여, 각 점에서 전체 장을 측정하기 위해 사용되는 두개의 편파를 정의하는 것이 필요하다. 두 편파는 두개의 회전축과 일치한다. 즉, 파이 편파는 파이축으로 회전 시 회전 방향과 같고 세타 편파는 세타축으로 회전 시 회전 방향과 같다.(그림 4-8)

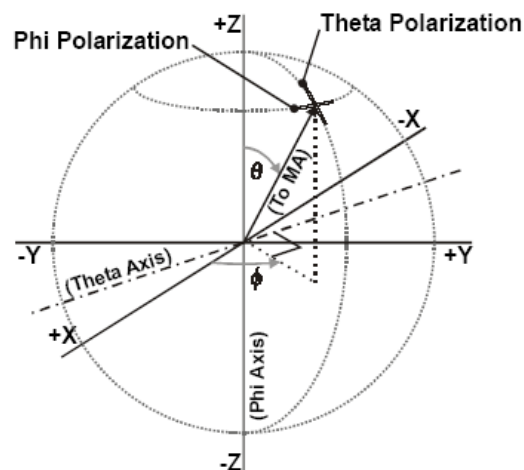


그림 4-8. 안테나 편파 측정

이 시험 계획안은 $\theta = 180^\circ$ 인 점에서 측정데이터가 정확치 않고 측정을 방해할 수 있는 z축 방향의 지지대가 EUT를 지탱하고 있다고 가정한 것이다. 결과적으로 구의 패턴 시험을 위해 필요한 좌표의 범위는 $\theta > 165^\circ$ 인 영역을 제외하고 시험에 포함된 3차원 전체 면을 나타내면 그림 4-9와 같다. 리플 시험은 패턴을 측정하는데 필요한 것과 같은 각 축의 각도범위를 포함하도록 한다. 따라서 세타축 리플 시험은 $\theta = 165^\circ$ 까지만 한다.

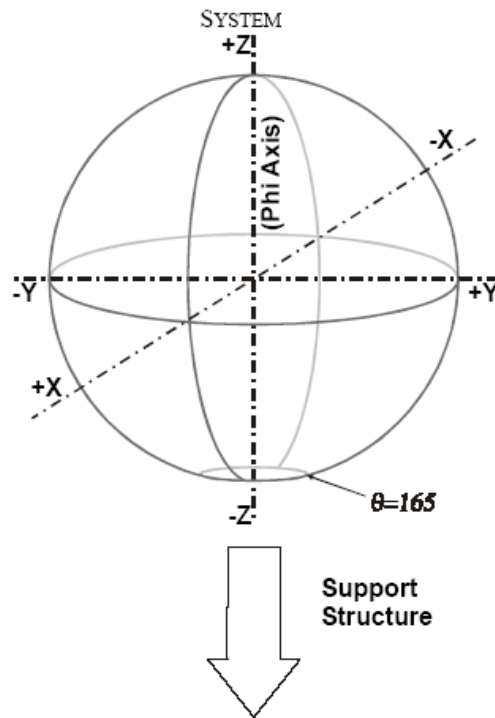


그림 4-9. 좌표에 따른 지지 구조물의 방향과 구좌표 범위

이 시험 목적을 위해, 위치 제어 시스템의 중요 구좌표 패턴시험을 수행하기 위한 예상방법(expected method)에 기초로 두 가지의 포지셔닝 시스템을 정의한다. 두 분류는 개별 축(distributed-axis)시스템과 혼합 축(combined-axis)시스템이다. 개별축 시스템은 EUT 주위에 파이축 위치제어기(그림 4-10 a)와 측정 안테나를 움직인다. 이것은 대부분 원뿔스캔법에서 사용하는 대표적인 시스템이다. 혼합축시스템은 두 축을 따라 EUT를 회전시키기 위해 파이축 위치제어기를 세타축 위치제어기에 올려놓은 것이다(그림 4-10 b). 이런 형태의 시스템 예는 소위 다중 축위치제어 시스템과 수동 큰원스캔법을 포함한다. 리플 실험은 위치제어시스템이 무엇이든 동등한 측정을 수행하고 같은 각도범위를 포함하도록 한다.

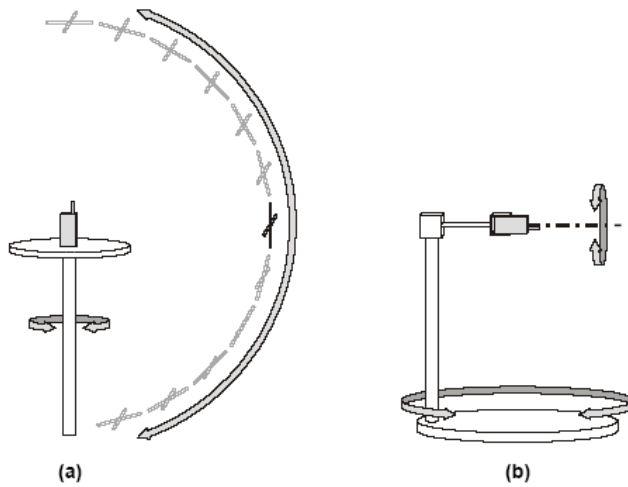


그림 4-10. 대표적인 개별측시스템 구성(a) 그리고 혼합측시스템 구성 (b)

마. 기초 측정 절차

측정절차에는 두 가지 중요한 부분이 있다. 파이축 리플시험과 쉼타축 리플시험이다. 일반적인 시험을 위해 사용된 좌대(즉 자유 공간 대 SAM 팬텀)에서 각 변화에 대한 시험시스템의 성능을 보증하기 위해 이 절차를 따라야 한다.

아래 설명한 허가 사항 조건하에 일반적인 시험을 위해 필요한 시험장비 및 필요한 모든 좌대는 각 위치에 설치되어야 한다. 수동 큰원스캔법 시스템에서는 각각 다른 파이 각도에 EUT를 위치시키는 데 사용된 다른 각각의 지지대를 시험할 필요가 있다. 추가적으로, 시험에 사용되는 탐침 안테나의 대칭성을 보장하는 것이 필요하다. 이것은 사용 전에 자격 있는 교정 실험실에서 인증 받아야 할 것이다. 또는 필요한 대칭성을 증명하기 위해 탐침 안테나지지 구조물에 충분한 대칭성이 존재한다면 그 자리에서 확인할 수 도 있다.

(1) 탐침 안테나 대칭 시험

이 시험은 탐침 안테나의 대칭성 품질에 대한 것이다. 이것은 리플 시험에 대한 직접적인 부분이 아니라, 오히려 탐침이 리플 시험 요구사항을 만족키 위해 사용될 수 있음을 보증하는 인증 단계이다. 이처럼 인증을 필요로 하는 리플 시험 구성으로 시스템 구성을 변형시킬 수 있다. 각 탐침 안테나를 확인하기 위해서 다음과 같은 절차를 반복한다.

- ① 탐침 축이 위치제어기 회전축을 따라 정확하게 가운데에 있게 하고, 회전축은 다이폴이나 루프 패턴에서 영점들을 관통하도록, 탐침 안테나를 유전체로 된 지지대 중심에 올려놓는다.(보통 이 시험은 파이 축 위치제어기를 사용하지만, 원하는 결과를 얻으려면 어느 축이든 상관없다). 360° 축으로 한 바퀴 돌면서 탐침 방향에 흔들림이 있는지를 확인한다.
- ② 측정 안테나를(다이폴 축과 평행하고 루프 접선방향으로) 탐침 안테나로부터 최소한 거리 R(시험 할 주파수에 대한 표 4-1에 설명한 최소 측정거리) 만큼 떨어진 곳에 같은 편파 방향으로 위치시킨다. 탐침 안테나 중심과 같도록 측정 안테나 양각을 조정하라.
- ③ 신호원을 탐침 안테나에 급전하는 동축케이블에 연결하라 그리고 적절한 채널로 주파수를 맞춘다. 그리고 측정 수신기를 위해 적절한 수준으로 크기를 조정한다. 측정 수신기를 측정안테나에 연결한다. 모든 동축 케이블이 측정 결과에 최소한의 영향을 주도록 피복을 확인한다.
- ④ 안테나 축으로 탐침 안테나를 회전시킨다. 그리고 총 360° 방위각방향으로 매2도씩 측정 안테나에 수신된 신호를 기록한다.

- ⑤ 측정 결과를 마이크로 소프트 엑셀 스프레드시트로 바꿀 수 있도록 파일로 기록하라.
- ⑥ ①번부터 ⑥번까지의 절차를 각 탐침 안테나에 대해 반복하라.

주: 두개의 데이터 집합을 공동으로 인정한다면, 슬리브 다이폴이나 루프 안테나 하나의 기준집합으로 통합할 수 있다.

관련 탐침 안테나가 나머지 시험에 사용되기 위해서는, 이 대칭 시험에서 관측된 총 리플은 중앙에서 ± 0.1 dB (첨두치간의 값은 0.2dB)보다 작아야 한다.

(2) 파이축 리플 시험

파이축 리플 시험은 지름이 300 mm이고 길이가 300 mm인 실린더 크기의 무반사 영역을 포함한다. 각 탐침 안테나는 파이축에 있는 세 개의 위치(무반사 영역 중심에서 하나 그리고 파이축을 따라 각각 \pm 오프셋된 곳)에 의해 정의된 총 6개 위치와 평행하도록 방향을 잡는다. 또한 각 탐침안테나는 각 축 오프셋을 위해 파이 축과 수직으로 150 mm 오프셋 된 축과 결합한다. 각 위치에서 리플을 측정하기 위해 쉼타가 90도에 놓인 측정 안테나를 갖고 파이 축을 360도 회전시킨다. 각 방향에서 적절한 오프셋을 표현하기 위해, 위치는 각 위치의 반지름과 중심위치를 (R, Z)로 표기하고 축오프셋은 0, +또는 -기호를 이용하여 분류한다. 추가적인 것은 그림 4-11을 참고하면 된다.

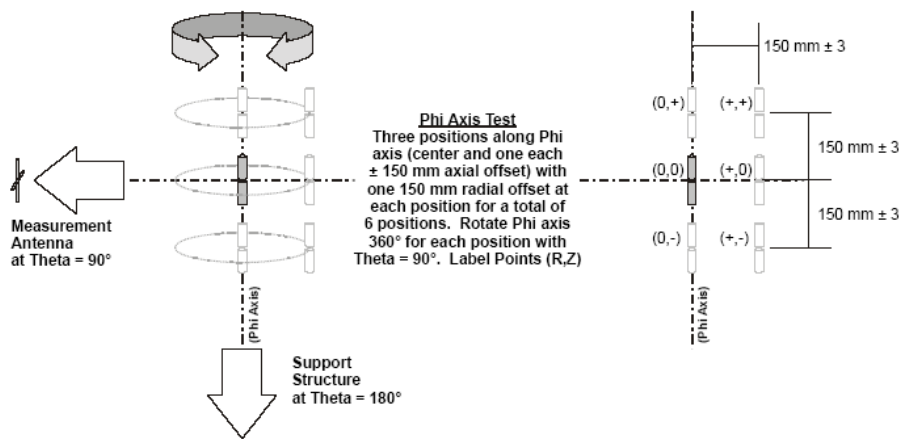


그림 4-11. 파이축 시험 구성

각 편파와 밴드에 대해, 다음 단계들을 반복한다.

- ① 측정 안테나가 무반사영역 중심에 놓이도록 즉, 켄타 90도에 측정 안테나와 켄타축 위치제어기를 배치한다. 측정안테나는 실제 패턴 측정을 위해 사용했을 때의 거리와 같은 거리만큼 떨어져 있어야 한다. 이 거리는 무반사 영역중심으로 부터 최소한 R(시험에 사용하는 주파수에 대해 표 4-1이 설명한 최소측정 거리)미터 떨어져 있어야 한다. 편파를 선택하거나 시험하는 편파(켄타 또는 파이)에 대응되도록 편파를 조정한다.
- ② 낮은 유전율을 갖는 유전체 지지대를 이용하여 파이축 위치 제어기에 탐침 안테나를 설치한다. 켄타 편파를 위해서는 슬리브 안테나를 사용하라. 그리고 파이 편파를 위해서는 루프 안테나를 사용하라. 6개의 오프셋 위치에서 탐침 축이 회전하는 파이 축과 평행한지를 확인하라.
- ③ 탐침 안테나에 급전하는 동축케이블에 신호원을 연결하라. 그리고 적절한 채널로 주파수를 맞춘다. 그리고 측정 수신기를 위해 적절한 수준으로 크기를 조정한다. 측정 수신기를 측정안테나에 연결한다. 리플 측정 시험동안 수신신호는 잡

음값 보다 적어도 40 dB 이상이어야 한다. 그렇지 않으면 0.1 dB 보다 큰 잡음에러가 발생할 것이다. 모든 동축 케이블이 측정 결과에 최소 영향을 주도록 피복을 확인한다.

- ④ 파이축으로 탐침 안테나를 회전시킨다. 그리고 총 360° 방위각방향으로 매 2도씩 측정 안테나에 수신된 신호를 기록한다.
- ⑤ 측정 결과를 마이크로소프트 엑셀 스프레드시트로 바꿀 수 있도록 파일로 기록한다.
- ⑥ 다음과 같은 것을 포함한 시험 파라미터를 기록한다. (a) 측정안테나와 탐침 안테나사이의 거리(b)케이블 손실과 측정 장치들에 의한 손실(c)탐침 안테나에 연결된 신호원의 전력 (d)신호를 인가하지 않았을 때의 수신기 잡음 크기
- ⑦ 파이축방향과 복사방향에 따라 무반사 영역의 중심으로부터 150 mm \pm 3 mm 오프셋한 6개 시험 위치에서 각 탐침안테나(편파 및 밴드)에 대해 위의 ①번부터 ⑥번까지의 단계를 반복한다.

(3) 세타축 리플 시험

세타축 리플 시험은 지름 300 mm인 구의 무반사 영역을 포함한다. 각 탐침 안테나는 직각좌표축을 따라 두 차례 150 mm 오프셋한 총 7개의 위치에서 세타축과 평행하도록 방향을 잡는다. 각 위치에서, $\phi = 0^\circ$ 에 위치한 측정 안테나를 사용하여, 세타축을 -165° 에서 165° 까지 회전시켜 리플을 측정한다. 또는 다음과 같은 별도의 두 시험 절차를 통해 리플을 측정한다. 즉, $\phi = 0^\circ$ 에 측정 안테나가 있고 세타축을 1-165° 회전시키고, 다시 $\phi = 180^\circ$ 에서 세타축을 1-165° 회전시켜 리플을 측정한다. 각 위치는 각 방향에서 적절한 오프셋을 표시하기 위해 0, +, 또는 -을 이용하여 각 좌표축(X, Y, Z) 중심으로부터 오프셋한 양을 표기한다. 부가적인 것은 그림 4-12를 참고하면 된다.

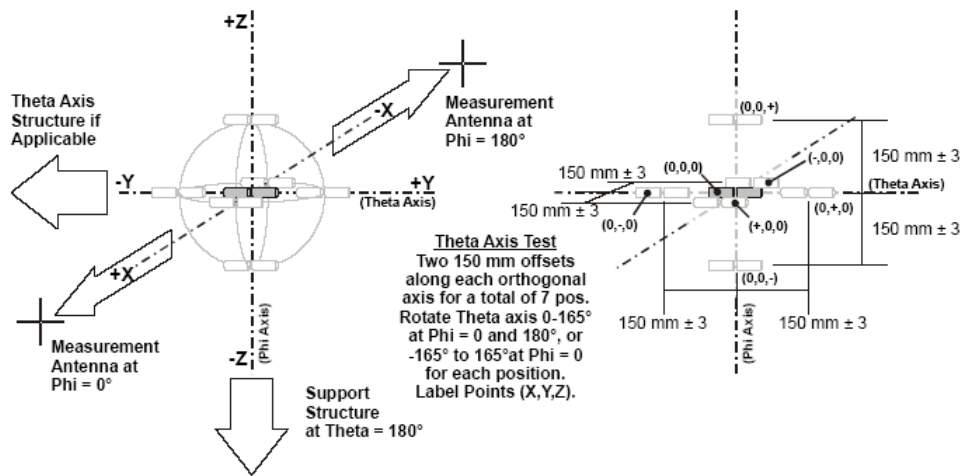


그림 4-12. 켄타축 시험 구성

각 편파와 밴드에 대해, 다음 단계들을 반복한다.

- ① 측정 안테나가 무반사 영역 중심과 같이 놓이도록 한다. 측정안테나는 실제 패턴 측정을 위해 사용했을 때의 거리와 같은 거리만큼 떨어져 있어야 한다. 이 거리는 무반사 영역 중심으로부터 최소한 R(시험에 사용하는 주파수에 대해 표 4-1이 설명한 최소측정 거리)미터 떨어져 있어야 한다. 편파를 선택하거나 시험하는 편파(켄타 또는 파이)에 대응되도록 편파를 조정한다.
- ② 파이 위치제어기를 0도(또는 켄타 위치제어기의 동작 영역이 $\pm 165^\circ$ 보다 작은 경우에서 파이가 0도와 180도인 경우에 대해)에 맞추고, 탐침 안테나의 축과 켄타의 회전축과 평행하도록 낮은 유전율 유전체로 만든 지지대를 사용하여 탐침 안테나를 고정시킨다. 켄타 편파인 경우 슬리브 안테나를, 파이 편파인 경우 루프 안테나를 사용한다. 일곱 개의 오프셋 위치각각에 대해, 켄타축 회전이 탐침 축과 평행한지를

확인하라. 쉼타 위치제어 동작 범위가 $\pm 165^\circ$ 보다 작은 경우에는, $= 0$ 와 180° 시험 시에 탐침 안테나와 연결 케이블이 파이축 위치제어기 구조와 같은 방향이 유지되어야 한다.(즉, 탐침은 파이 위치제어기와 같이 회전하도록 탑재되어야 한다.)

- ③ 탐침 안테나에 급전하는 동축케이블에 신호원을 연결하라 그리고 적절한 채널로 주파수를 맞춘다. 그리고 측정 수신기를 위해 적절한 수준으로 크기를 조정한다. 측정 수신기를 측정안테나에 연결한다. 리플 측정 시험동안 수신신호는 잡음값 보다 적어도 40 dB 이상이어야 한다. 그렇지 않으면 0.1 dB 보다 큰 잡음에러가 발생할 것이다. 모든 동축 케이블이 측정 결과에 최고 영향을 주도록 피복을 확인한다.
- ④ 쉼타축으로 탐침 안테나를 회전시킨다. 그리고 총 360° 방위각방향으로 매 2도씩 측정 안테나에 수신된 신호를 기록한다. 또는 360도 대신에 164도씩 두 번 별도의 시험을 수행한다.(주:2도씩에 같은 범위를 하기 위해서는 두개의 개별적인 시험은 0도인 경우 측정이 안 되기 때문에 한 각도가 빠진다.)
- ⑤ 측정 결과를 마이크로소프트 엑셀 스프레드시트로 바꿀 수 있도록 파일로 기록하라.
- ⑥ 다음과 같은 것을 포함한 시험 파라미터를 기록한다. (a) 측정안테나와 탐침 안테나사이의 거리(b)케이블 손실과 측정 장치들에 의한 손실(c)탐침 안테나에 연결된 신호원의 전력 (d)신호를 인가하지 않았을 때의 수신기 잡음 크기.
- ⑦ 여섯 개의 주요 방향에 따라 무반사 영역의 중심으로부터 $150 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ 오프셋한 일곱 개의 시험위치에서 각 탐침안테나(편파 및 밴드)에 대해 위의 ①번부터 ⑥번까지의 단계를 반복한다.

(4) 허용한도 및 조정

실제 위치제어시스템에서 이들 시험을 구현할 때, 시험 중에 요구되는 시험 장치와 EUT나 SAM 팬텀을 지탱하기 위한 기계적인 보조 구조들 간의 간섭이 발생할 가능성이 있다. 여기에서는 시험 시스템을 리플시험을 수행하기 위해서 보통 시험구성에 약간 변형시킬 수 있는 허용한도에 대해 자세히 설명한다. 가능한 곳에는 시스템 변화를 최소화해야 한다. 최종 조정한도는 전문가 승낙(SME : subject matter expert)이 있으면 CTIA가 결정한다.

- ① EUT를 파이축 위치제어기에 부착 시 필요한 지지구조물 일부는 자유공간시험을 위해있는 필요하지만, 이 일부는 리플 시험을 위해서는 두 축에 대한 무반사 영역에서 제거할 수 있다. 리플 시험에 포함된 남아있는 구조물과 비교해서, 남아있는 구조물이 음성 자유공간 패턴측정에 무시할 수 있는 영향을 줄을 보여주기 위해 시험자는 미리 조사해야한다.
- ② 유전율이 1.2보다 작은 물질로 만든 지지대는 무반사 영역 (중심으로부터 400 mm)밖으로 최대 거리 250 mm까지 이동시킬 수 있다.
- ③ 유전율이 4.5보다 작은 물질로 크기가 13 mm인 유전체로 만들어진 어댑터 판과 SAM팬텀 밑부분에 있는 전체 부분은 리플시험 목적을 위해 SAM팬텀의 일부분으로 간주하거나 팬텀과 함께 제거할 수 있다.
- ④ 파이축 리플 시험에는 파이축 주위에 탐침 안테나 회전을 방해할 수 있는 지지대의 기계적인 방해가 있을 수 있다. 따라서 파이축 위치제어시스템은 무반사 영역으로부터 (X-) 위치 시험을 수행하기 위해 필요한 최소 측정거리 만큼 떨어져 있어야 한다. 나머지 파이축 위치시스템을 위해 지지대를 제거해야 할 필요는 없다.

⑤ 리플시험에 잘못되게 할 수 있는 근거리 장 영향을 없애기 위해, 유전율이 1.2보다 작은 물질로된 지지대는 탐침 안테나의 어느 부분의 물리적 표면위의 점으로부터 75 mm내에 있지 않아야 한다. 남아있는 SAM팬텀 지지대와 물리적으로 교차가 예상되는 루프와 다이폴이 있는 쉘타축 시험에서 이것은 중요한 문제가 될 것으로 예상된다. 필요한 시험 점을 배제하지 않고, 이런 가능성을 해소하기 위해서는 파이축 지지대(0,0,-)에 가장 가까운 시험 점을 다음 시험들 중 하나로 우선 순위에 따라 대체시킬 수 있다.

- a. (0,0,-)점에서 쉘타축(Y축)과 평행한 방향에 있는 150 mm \pm 3 mm 오프셋으로 정의된 두 점은 (0,+,-)와 (0,-,-)로 표기되며, 이들 두점의 최대는 (0,0,-)로 대체할 수 있다.
- b. 이들 점들 모두를 측정할 수 없다면, 다음 중 하나를 선택한다.
 - i. (0,0,-)점에서 쉘타축과 파이축(X축) 양축에 수직인 방향을 따라 150 mm \pm 3 mm 오프셋으로 정의된 두 점은 (+,0,-)와 (-,0,-)로 표기되며, 이들 두 점의 최대는 (0,0,-)으로 대체할 수 있다
 - 또는 -
 - ii. 탐침 안테나 표면에서 필요한 간격을 만들기 위해서, 균일장영역에서 파이축 위치제어기 구조물을 필요한 최소거리만큼 떨어지도록 이동시킬 수 있다.

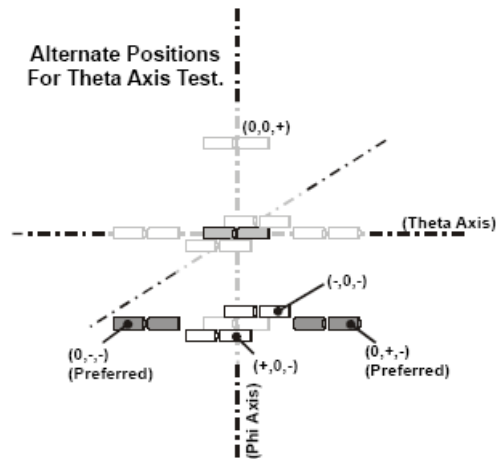


그림 4-13. 켄타축 시험에서 허용된 교체 탐침 위치를 설명한 그림

바. 리플 시험 절차를 특정 시스템에 적용하기

앞서 제시한 절차는 완전 자동 구좌표 패턴 측정 시스템에 적용 가능해야 한다. 여기에서는 다른 시스템 형태를 위한 필요조건을 설명하는 데 도움이 되기 위한 몇 가지 예들을 든다.

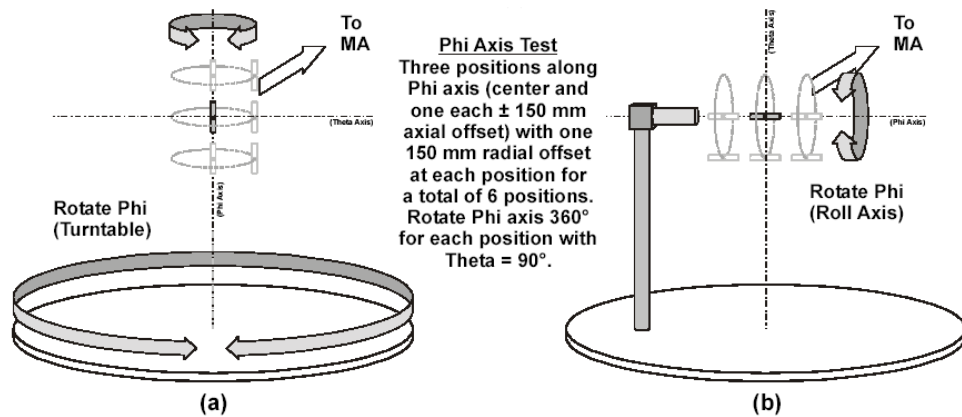


그림 4-14. 대표적인 개별축 시스템(a) 그리고 혼합축 시스템을 위한 파이축 시험 구성도(b)

파이축 시험: 파이축을 따라 3개의 위치들(중심과 축방향으로 150 mm 오프셋한 위치) 하나에 대해 총 6개의 위치를 갖는다. 각 위치에 대해 켄타 90도에서 파이축으로 360도 회전시키다.

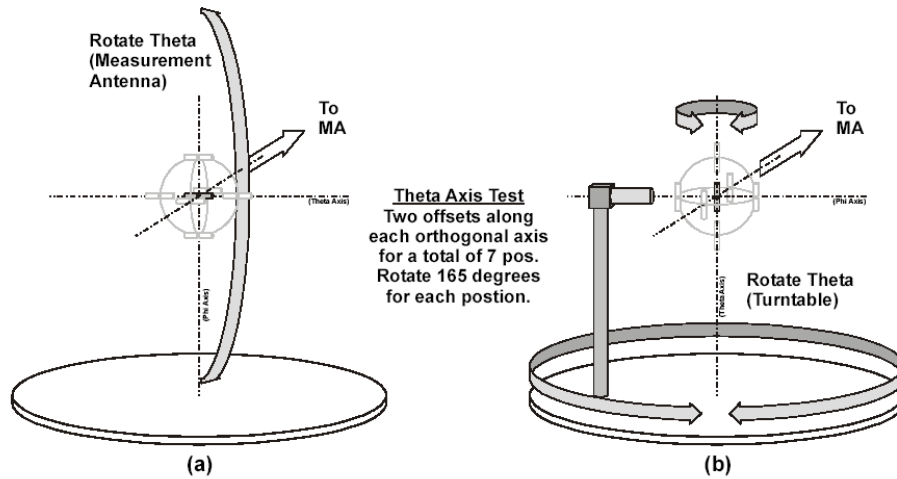
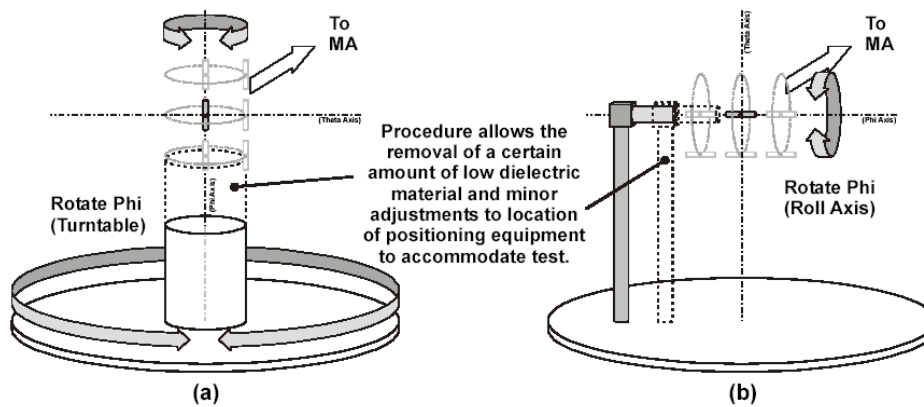


그림 4-15. 대표적인 개별 측시스템(a) 그리고 혼합측 시스템을 위한 켄타축 시험 구성도(b)

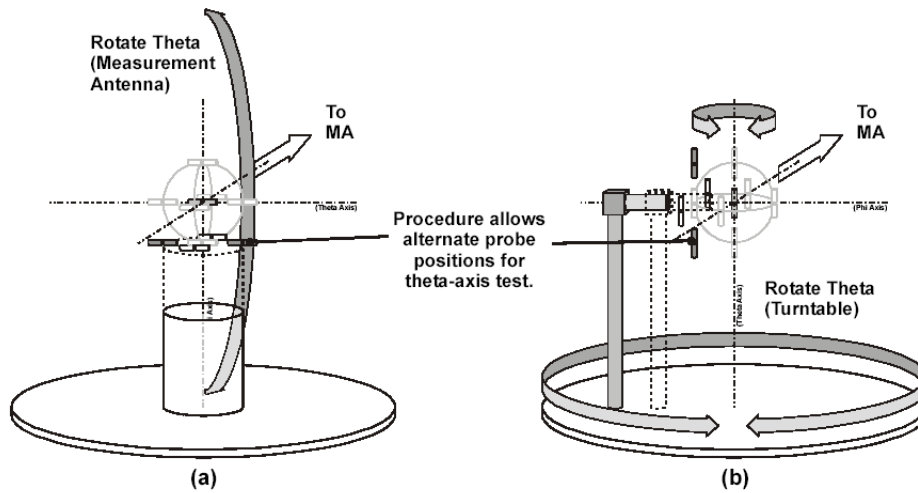
켄타축 시험 : 총 7개의 위치각 직교축을 따라 두개의 오프셋 각 위치에서 165도 회전시킨다.



Refer to text for details

그림 4-16. 파이축 시험을 위해 허용된 대체 실험 구성도 예

시험을 원활히 하기 위해 위치 제어 장비의 위치를 미세하게 조정하고 유전체 물질을 어느 정도 제거하는 것을 허용한다.



Refer to text for details

그림 4-17. 쉐타축 시험을 위해 허용된 대체 실험 구성도 예

쉐타축 시험을 위해 교체 탐침 위치를 허용한다.

사. 분석

- (1) 코사인법칙(아래참고)에 대한 방정식을 사용하여 거리 변동을 교정하기 위해서는, off_axis리플 측정을 조정한다. (주: 조정이 무시될 정도로 먼 거리에 대해서는, 교정을 적용할 필요가 없다.)
- (2) 극 좌표계를 이용하여 교정된 패턴을 그린다.
- (3) 리플 시험결과로 인한 측정 불확실성을 계산하기 위해서는 부록 G8.1.1에 정의한 절차를 사용한다.
- (4) CATL 인증 절차의 일부분으로 그림과 계산결과를 제출해야 한다.

코사인 조정 방법의 법칙 (원격장 실험인 경우)

안테나가 중심축으로 회전되고 있을 때, 코플레너 안테나인 경우, 안테나간의 거리를 결정하는데 코사인 법칙이 사용될 수 있다. 각 리플 시험 측정은 기준을 스스로 정하기(self-reference) 때문에, 미소한 양각 차이는 결과에 단지 2차 또는 3차적인 영향을 준다. 이것에 대한 이해를 돕기 위해서는 그림 4-18을 참고하라. 위에서 수직방향의 안테나를 굽어보는 시각으로 그린 그림임을 주목하라.

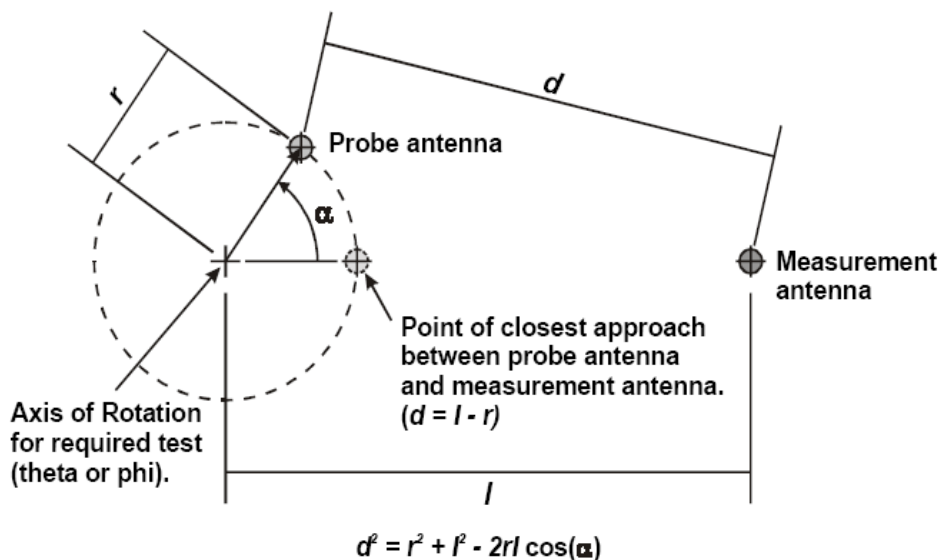


그림 4-18. 코사인 법칙 길이범위를 조정하는 그림

- ① 회전축과 측정 안테나간의 측정 거리를 l 이라고 하자.
- ② 탐침 안테나가 회전축으로부터 떨어진 길이를 r 이라고 하자.
- ③ α 를 탐침 안테나의 회전 각도라고 하자. $\alpha = 0$ 도는 탐침 안테나가 측정안테나와 가장 가까운 거리에 있는 위치이고 180 도는 측정 안테나에서 가장 먼 거리인 위치이다. 이것은 규정된 각도 오프셋을 적용한 (즉 $\alpha = \theta + 0, 90, \text{ 또는 } 180^\circ$) 리플 시험에서 파이나 켄타 각도 어느 것이든 해당된다. 파이축 시험

에 대한 교정은 탐침 안테나와 측정 안테나와 가장 가까울 때 즉 $\alpha = 0$ 에서 시작하면 단순화시킬 수 있다.

- ④ 탐침 안테나와 측정안테나와의 계산 거리를 d 라고 하자. 그러면 d 는 다음과 같은 코사인 법칙으로 계산할 수 있다.

$$d^2 = r^2 + l^2 - 2 r l \cos\theta$$

- ⑤ 다음 방정식을 사용하여 거리 변화를 설명하기 위해 측정된 신호 전력을 조정한다.

$$P_{adj} = P_{meas} - 20 \log (d/l)$$

여기서 P_{adj} 와 P_{meas} 단위는 dB이다.

파라미터 r 과 l 은 세심하게 측정해야하고 이 기법을 정확하게 적용할 수 있도록 기록해야 한다.

3. 대체(교환)부품

가. 방법

대체부품은 오래된 EUT 측정 데이터에서 표준화해야 할 시스템 손실과 이득을 결정하는 데 사용된다.

나. 절차

대체 부품은 측정 주파수에서 EUT를 교정된 이득/손실 특성을 갖는 안테나로 대체하는 대체 방법을 사용한다(즉 교정 교환 안테나). 신호발생기는 알고 있는 전력크기로 교정 교환 안테나를 구동하는 데 사용된다. EUT를 측정하는 단계(즉 교정 교환 안테나)에서 스펙트럼 분석기 또는 수신측정기는 안테나와 결합된 방사 신호의 전력을 측정하는 데 사용된다. 시험주파수는 표 4-3을 권고하는 시험 구성은 그림 4-19를 참고하라.

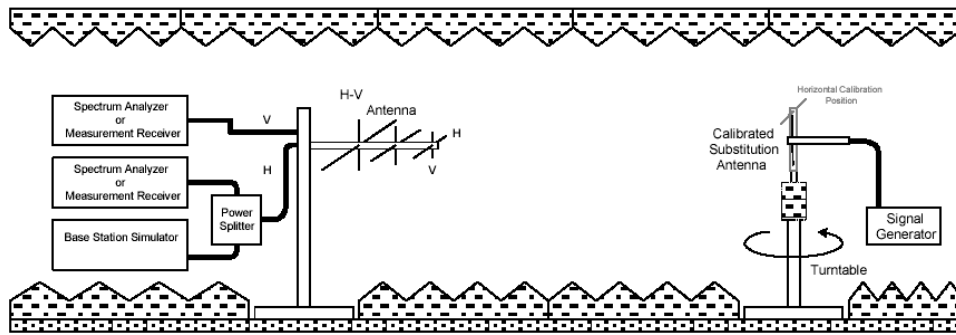


그림 4-19. 교환 부품을 위한 구성도

시험 실험실안에 위치한 안테나 위치 제어기의 꼭대기 중심에 놓인 유전체 기둥 중심에, 적정한 대역의 교정된 교환안테나를 위치시킨다. 회전하는 안테나 위치기의 중심에, 교정교체 안테나의 위상 중심(알고 있다면)을 맞춘다. 그리고 안테나가 쉘타 편파임을 확인한다.

표 4-3. 교체 부품을 위한 시험 주파수들

Band	주파수 표시	주 파 수 (MHz)
Cellular	CH1-TX	824
Cellular	CH1-RX	869
Cellular	CH2-TX	836
Cellular	CH2-RX	881
Cellular	CH3-TX	849
Cellular	CH3-RX	894
PCS	CH4-TX	1850
PCS	CH4-RX	1930
PCS	CH5-TX	1880
PCS	CH5-RX	1960
PCS	CH6-TX	1910
PCS	CH6-RX	1990

교정된 교환안테나와 수평선상에 놓이도록 측정 안테나의 높이를 조정한다. 교정 교환 안테나에 인가하는 전력을 각 주파수에 대해 측정한다. 측정안테나의 수직 및 수평에 연결된 스펙트럼 분석기(측정 수신기)의 입력 단에 전력을 각 주파수에 대해 기록한다.

측정은 수평 편파 교정 교체안테나를 가지고 반복한다. 경로 손실(교정 교체 안테나와 스펙트럼 분석기에서 수신된 전력차이)은 각 주파수와 시험할 편파에 대해서 측정 데이터로부터 계산할 것이다. 경로손실도 측정주파수에 대해 단위가 dBi 인 교정대체 안테나의 이득 및 손실을 고려하여 조정해야 한다. 표 4-4는 어떻게 데이터를 기록하는가를 보여준다.

표 4-4. 교체 부품 데이터 기록 예

Band	주파수 표시	측정신호 세기 (dBm)		신호발생기 전력 (dBm)	교정교체 안테나 이 득 (dBi)	경로손실 (dB)	
		수평	수직			수평	수직
Cellular	CH1-TX	-90	-90	0.0	0.5	90.5	90.5
Cellular	CH1-RX	-99	-99	0.0	0.5	99.5	99.5
Cellular	CH2-TX	-96	-96	0.0	0.5	96.5	96.5
Cellular	CH2-RX	-95	-95	0.0	0.5	95.5	95.5
Cellular	CH3-TX	-89	-89	0.0	0.5	89.5	89.5
Cellular	CH3-RX	-92	-92	0.0	0.5	92.5	92.5
PCS	CH4-TX	-90	-90	0.0	0.5	90.5	90.5
PCS	CH4-RX	-99	-99	0.0	0.5	99.5	99.5
PCS	CH5-TX	-96	-96	0.0	0.5	96.5	96.5
PCS	CH5-RX	-95	-95	0.0	0.5	95.5	95.5
PCS	CH6-TX	-89	-89	0.0	0.5	89.5	89.5
PCS	CH6-RX	-92	-92	0.0	0.5	92.5	92.5

아래의 방정식을 이용하여 경로 손실을 계산할 수 있다.

$$PL = P_{sig\ gen} + G_{subst\ ant} - P_{sp\ an}$$

여기서, $PL \equiv$ 경로손실(dB)

$P_{sig\ gen} \equiv$ 신호 발생기에서 교정 대체 안테나로 인가되는 전력(dBm)

$G_{subst\ ant} \equiv$ 교정 대체 안테나의 이득 (dBi)

$P_{span} \equiv$ 30 kHz대역폭(또는 더 큰 대역폭)에서 스펙트럼 분석기로 측정된 전력(dBm)

측정안테나와 기지국모의장치 사이의 손실(케이블 및 전력 분배 손실을 포함한 손실)은 ± 0.1 dB 내에 있어야 한다. 그러면 수평 측정으로 계산한 경로손실을 바로 사용할 수 있다. 그렇지 않은 경우, 이동 신호 세기 보고서를 기초로 다운링크(down link) 측정을 실행할 때 이들 차이를 고려해야 한다.

대체 부품 과정을 수행하는 동안에, 패턴이 합리적이고 두 안테나의 상대적인 방향이 파이 편파인 경우에서 최대 빔이 측정되는 것을 확인하기 위해, 교정 대체 안테나를 회전시키고 안테나 패턴을 그리는 것이 바람직하다. 측정에 영향을 주지 않기 위해서 교정 대체 안테나와 신호 발생기를 연결하는 케이블은 잘 피복이 되어 있어야 한다.

경로손실을 바로 적용하고 전 측정과정에 같은 부품을 사용함으로써 불확실성들(케이블의 삽입손실들)을 제거하기 위해서, 교체부품 동안에 사용된 같은 장비와 케이블을 EUT측정에서도 사용해야하는 것은 매우 중요하다.

측정을 위해 권고된 주파수들은 TBD에서 규정한다. 이들 주파수는 시험을 위해 각 밴드의 중심주파수 근처 및 밴드 가장자리 주파수에서 선택되어졌다. 이 방법을 사용하면 안테나, 필터 또

는 회로설계로 인한 EUT의 성능에 중요한 변화들이 분명해진다.

다. 교체 부분 데이터 파일

추가적인 조사나 표 4-5와 같은 계산을 하기 위해 데이터는 읽을 수 있는 형식으로 제출돼야 한다.

표 4-5. 교체 부품 데이터 파일 형식 예

날짜				2000년 8월24			
교정 안테나				EA-1234			
Band	주파수 (MHz)	측정신호세기(dBm)		신 호 발 생 기 전 력 (dBm)	교정된 교체 안 테 나 이 득 (dBi)	경로손실(dB)	
		분 석 기 수 직	분 석 기 수 평			수평	수직
Cellular	CH1-TX	-90	-90	0.0	0.5	90.5	90.5
Cellular	CH1-RX	-99	-99	0.0	0.5	99.5	99.5
Cellular	CH2-TX	-96	-96	0.0	0.5	96.5	96.5
Cellular	CH2-RX	-95	-95	0.0	0.5	95.5	95.5
Cellular	CH3-TX	-89	-89	0.0	0.5	89.5	89.5
Cellular	CH3-RX	-92	-92	0.0	0.5	92.5	92.5
PCS	CH4-TX	-90	-90	0.0	0.5	90.5	90.5
PCS	CH4-RX	-99	-99	0.0	0.5	99.5	99.5
PCS	CH5-TX	-96	-96	0.0	0.5	96.5	96.5
PCS	CH5-RX	-95	-95	0.0	0.5	95.5	95.5
PCS	CH6-TX	-89	-89	0.0	0.5	89.5	89.5
PCS	CH6-RX	-92	-92	0.0	0.5	92.5	92.5

교체부품 절차를 다음과 같은 경우 실행해야한다:

- 가. 평가에 사용된 장비 중에서 교체, 수리, 기능개선 또는 교정을 했다면.
- 나. 무반사실을 수리했거나 그렇지 않으면 바뀌었다면.
- 다. 무반사실의 장비를 교체하거나 원래 위치로부터 이동시켰

을 때
라. 과거 측정 데이터를 EUT 측정에 사용할 수 있는지에 관한 질문이 있다면.

4. 시험절차 - 방사 전력

다른 지시사항이 없다면 모든 평가는 최대 송신 전력에서 ‘대화’ 모드에서 수행된다. 다중 공중 인터페이스(multiple air-interface) 기술을 지원하는 제품은 관계된 시험절차와 일치하게 시험해야 한다. 시험결과는 정의된 형식으로 수행된 각 시험에 대해 준비되어 있어야 할 것이다.

가. 아날로그 TIA/EIA-690

(1) 시험 절차

측정 장소와 EUT는 부록 A에 설명한 것처럼 구성되어야 한다. EUT에서 방사되는 전력은 교정된 정밀한 RF 측정기기로 측정해야 한다.

아날로그 제어 채널에 대해서 표 4-6에 있는 것과 같은 파라미터와 이동국 관련 파라미터를 사용하여, EUT를 호출하고 음성과 트래픽 채널에 연결한다.

표 4-6. 아날로그 기지국 파라미터

파라미터	설정
형태	AMPS/NAMPS
밴드	800 MHz
VMAC	0

시험은 표 4-7에 정의한 것처럼 셀룰러 밴드들에서 서로 다른 3개의 주파수 쌍에 대해 실행한다.

표 4-7. 아날로그 시험 주파수

Band	채널쌍	표기	주파수 (MHz)
Cellular A	991	CH1-TX	824.04
Cellular A	991	CH1-RX	869.04
Cellular B	384	CH2-TX	836.52
Cellular B	384	CH2-RX	881.52
Cellular B	799	CH3-TX	848.97
Cellular B	799	CH3-RX	893.97

방사 전력 측정은 자유공간 구성에서 적절하다면, 확대나 축소된 EUT 안테나 구성으로 모든 적용가능한 주파수에 대해 기록되어야 한다.

휴대용 장치에 대해서는, 적용 가능한 모든 주파수에 대해 방사 전력 측정을 반복해야 한다. 성능에 미치는 영향을 시뮬레이션하기 위해 SAM두부팬텀에 놓인 EUT와 모든 안테나 구성에 대해서도 방사전력측정을 반복해야 한다.

(2) Criteria

부록 B.2에 설명한 것처럼 산업체의 분석을 위해 성능지수 (Figure of Merit)를 가지고 방사 RF전력을 기록해야 한다. 보고서는 확대 또는 축소된 EUT 안테나(가능하면)를 가지고 측정한 모든 채널에 대해서 자유공간에서의 결과와 가상적으로 사용한 구성 (가능하면)에 대한 결과가 포함되어 있어야 한다.

표 4-8. 아날로그 최소 방사 전력 크기에 대한 요구사항

장비전력(Class)	자유공간방사전력 확장/축소	모의 머리 방사 전력 확장/축소
Class I	TBD	TBD
Class II	TBD	TBD
Class III	TBD	TBD

주: 장비 전력은 관련 산업체 표준에서 설명하는 전력 크기와 부합 되도록 해야 한다.

나. CDMA TIA/EIA-98-D

(1) 시험 절차

측정 장소 및 EUT는 부록 A에 설명한 것처럼 구성되어야 한다. EUT에서 방사되는 전력은 교정된 정밀한 RF측정기기로 측정해야 한다. (예 : 스펙트럼 분석기/측정수신기/전력미터기). 주: CDMA 전력 측정 시 고려할 사항에 대해서는 부록 D.4를 참고하면 된다.

CDMA 시험 파라미터들은 최대 RF 출력전력 시험을 위해서는 TIA/EIA-98-D의 4.4.5항에 맞게 조정해야하고, 표 4-9 또는 표 4-10에 기술한 예외들은 제외하고 TIA/EIA-98-D의 6.5.2항에서 설명한 초기값에 맞게 조정해야만 한다. 무선구성은 여러 시험상자 위에서는 직접 구성하지 못할 수 있다. 이런 경우라면, 무선 구성은 암시적으로 서비스 선택구성으로 구성될 것이다. EUT를 호출하고, 음성/트래픽(traffic) 채널과 연결한다. FER로 음성/트래픽 채널을 안정되게 유지하기 위해 필요한 만큼, 전방링크 전력을 조절하라. 따라서 송신기는 전력을 측정하는 동안 차단하지 않는다.

표 4-9. CDMA 기지국 파라미터들-셀룰러 밴드

파라미터	설정
형태	CDMA
밴드 급	0
채널 (등록된)	필요에 따라 *
SID	필요에 따라 *
NID	필요에 따라 *
무선구성	1
서비스 선택	2
비율	최고
전력조정	항상 높임
경로손실	표 4-4를 보라

표 4-10. CDMA 기지국 파라미터들-PCS 밴드

파라미터	설정
형태	CDMA
밴드 급	0
채널 (등록된)	필요에 따라 *
SID	필요에 따라 *
NID	필요에 따라 *
무선구성	1
서비스 선택	2
비율	최고
전력조정	항상 높임
경로손실	표4-2를 보라

주: * 등록 채널, SID/NID는 서비스 공급자의 특성이다.

시험들은 표 4-11에서 나타난 것처럼 EUT에서 지원되는 주파수 밴드들에서 서로 다른 3개의 주파수 쌍에 대해서 수행되어야 한다.

표 4-11. CDMA 시험 주파수들

Band	채널쌍	표기	주파수 (MHz)
Cellular A	1013	CH1-TX	824.7
Cellular A	1013	CH1-RX	869.7
Cellular B	384	CH2-TX	836.52
Cellular B	384	CH2-RX	881.52
Cellular B	777	CH3-TX	848.31
Cellular B	777	CH3-RX	893.31
PCS A	25	CH4-TX	1851.25
PCS A	25	CH4-RX	1931.25
PCS B	600	CH5-TX	1880.00
PCS B	600	CH5-RX	1960.00
PCS C	1175	CH6-TX	1908.75
PCS C	1175	CH6-RX	1988.75

방사 전력 측정은 자유공간 구성에서 적절하다면, 확대나 축소된 EUT 안테나 구성으로 모든 적용가능한 주파수에 대해 기록되어야 한다.

휴대용 장치에 대해서는, 적용 가능한 모든 주파수에 대해 방사 전력 측정을 반복해야 한다. 성능에 미치는 영향을 시뮬레이션하기 위해 SAM두부팬텀에 놓인 EUT와 모든 안테나 구성에 대해서도 방사전력측정을 반복해야 한다.

(2) 기준

부록 B.2에 설명한 것처럼 산업체의 분석을 위해 성능지수를 가지고 방사 RF전력을 기록해야 한다. 보고서는 확대나 축소한 EUT안테나(가능하면)를 가지고 측정한 모든 채널에 대해서 자유공간에서의 결과와 가상적으로 사용한 구성(가능하면)에 대한 결과를 포함하고 있어야 한다.

표 4-12. CDMA 최소 방사 전력 크기 필요조건들

장비전력(Class)	자유공간방사전력 확장/축소	모의 머리 방사 전력 확장/축소
Class I	TBD	TBD
Class II	TBD	TBD
Class III	TBD	TBD

주: 장비 전력은 관련 산업체 표준(들)에서 설명하는 전력 크기와 부합되도록 해야 한다.

다. TDMA TIA/EIA/IS-136-A

(1) 시험 절차

측정 장소 및 EUT는 부록 A에 설명한 것과처럼 구성되어야 한다. EUT에서 방사되는 전력은 교정된 정밀한 RF측정기기로 측정해야 한다. (예; 스펙트럼 분석기/측정수신기/갑작스런 신호변동에 대한 평균 기능이 있는 전력미터기)

주: TIA/EIA/IS-136-A는 일정치 않은 포락선을 갖는 TDMA 기술이다; 전력이 동작 시간동안에 만 평균을 취해야하는 것처럼 (부록 D.1을 보라)

디지털 제어 채널에 대해서는 표 4-13에 있는 파라미터를, 이동국에 대해서는 관련된 파라미터를 이용하라. EUT를 호출하고 음성/트래픽채널에 연결하라.

표 4-13. TDMA 기지국 파라미터들

파라미터	설정
형태	디지털
밴드	Cellular/PCS
DMAC	0

시험은 표 4-14에 정의한 것(셀룰러 및/또는 PCS)처럼 EUT가 지원하는 밴드들에서 서로 다른 3개의 주파수 쌍에 대해 실행한다.

표 4-14. TDMA 시험 주파수

Band	채널쌍	표기	주파수(MHz)
Cellular A	991	CH1-TX	824.04
Cellular A	991	CH1-RX	869.04
Cellular B	384	CH2-TX	836.52
Cellular B	384	CH2-RX	881.52
Cellular B	799	CH3-TX	848.97
Cellular B	799	CH3-RX	893.97
PCS A	2	CH4-TX	1850.04
PCS A	2	CH4-RX	1930.08
PCS B	999	CH5-TX	1879.95
PCS B	999	CH5-RX	1959.99
PCS C	1998	CH6-TX	1909.92
PCS C	1998	CH6-RX	1989.96

방사 전력 측정은 자유공간 구성에서 적절하다면, 확대나 축소된 EUT안테나 구성으로 모든 적용가능한 주파수에 대해 기록되어야 한다. 휴대용 장치에 대해서는, 적용 가능한 모든 주파수에 대해 방사전력 측정을 반복해야 한다. 성능에 미치는 영향을 시뮬레이션하기 위해 SAM두부팬텀에 놓인 EUT와 모든 안테나 구성에 대해서도 방사전력측정을 반복해야 한다.

(2) 기준

부록 B.2에 설명한 것처럼 산업체의 분석을 위해 성능지수를 가지고 방사 RF전력을 기록해야 한다. 보고서는 확대나 축소된 EUT 안테나(가능하면)를 가지고 측정한 모든 채널에 대해서, 자유공간에서의 결과와 가상적으로 사용한 구성(가능하면)에 대한 결과가 포함되어 있어야 한다.

표 4-15 TDMA 최소 방사 전력 크기 필요조건들

장비전력 (구분)	자유공간방사 전력 확장/축소	모의 머리 방사 전력 확장/축소
Class I	TBD	TBD
Class II	TBD	TBD
Class III	TBD	TBD
Class IV	TBD	TBD

주: 장비 전력은 관련 산업체 표준에서 설명하는 전력 크기와 부합 되도록 해야 한다.

라. GSM 1900 3GPP TS 51.010

(1) 시험 절차

측정 장소 및 EUT는 부록 A에 설명한 것과처럼 구성되어야 한다. EUT에서 방사되는 전력은 교정된 정밀한 RF측정기기로 측정해야한다. (예;스펙트럼 분석기/측정수신기/갑작스런 신호변동에 대한 평균 기능이 있는 전력미터기) GSM-1900은 일정한 포락선

을 갖는 TDMA기술이다. 전력 측정 시 고려사항에 대해서는 부록 D.4를 보라

방송제어(broadcast) 채널은 표 4-16에 있는 파라미터를, 이동국은 관련된 파라미터를 이용하라. EUT를 호출하고 음성/트래픽채널에 연결하라.

표 4-16. GSM-1900 기지국 파라미터들

파라미터	설정
형태	GSM
밴드	1900
PCL	0

시험은 표 4-17에 정의한 것처럼 EUT가 지원하는 밴드들에서 서로 다른 3개의 주파수 쌍에 대해 실행한다.

표 4-17. GSM-1900 시험 주파수들

Band	채널쌍	표기	주파수 (MHz)
PCS A	512	CH1-TX	1850.20
PCS A	512	CH1-RX	1930.20
PCS B	661	CH2-TX	1880.00
PCS B	661	CH2-RX	1960.00
PCS C	810	CH3-TX	1909.80
PCS C	810	CH3-RX	1989.80

방사 전력 측정은 자유공간 구성에서 적절하다면, 확대나 축소된 EUT 안테나 구성(가능하면)으로 모든 적용가능한 주파수에 대해 기록돼야 한다.

휴대용 장치에 대해서는, 적용 가능한 모든 주파수에 대해 방사 전력 측정을 반복해야 한다. 성능에 미치는 영향을 시뮬레이션하기 위해 SAM두부팬텀에 놓인 EUT와 모든 안테나 구성에 대해서

도 방사전력측정을 반복해야 한다.

(2) 기준-GSM 1900 방사 전력

부록 B.2에 설명한 것처럼 산업체의 분석을 위해 성능지수를 가지고 방사 RF전력을 기록해야 한다. 보고서는 확대나 축소된 EUT 안테나(가능하면)를 가지고 측정한 모든 채널에 대해서, 자유공간에서의 결과와 가상적으로 사용한 구성(가능하면)에 대한 결과가 포함되어 있어야 한다.

표 4-18. GSM-1900 TDMA 최소 방사 전력 크기 필요조건들

장비전력(분류)	자유공간방사 전력 확장/축소	모의 머리 방사 전력 확장/축소
Class I	TBD	TBD
Class II	TBD	TBD
Class III	TBD	TBD

주: 장비 전력은 관련 산업체 표준에서 설명하는 전력 크기와 부합 되도록 해야 한다.

5. 시험절차 -수신기 성능

모든 관련 시험 절차에 따라 다중공중인터페이스 기술을 지원하는 제품을 시험해야 한다. 수행된 시험에 대해 각 시험결과는 부록 B에 정의한 형식으로 지급해야 한다.

수신 성능 측정은 '5. 시험절차-방사전력'에서 실행한 시험과 동시에 진행돼야 한다. 동시에 진행하지 못한 측정들에 대해서는, 시험 장치구성과 CHn-Rx로 표시되는 주파수들 그리고 여기에 앞으로 나타낼 표에 있는 주파수들을 사용해야 한다.

총등방성민감도(TIS:Total Isotropic Sensitivity)는 EUT에 지원하는 주파수 대역에 대해 3채널(낮은,중간,높은 채널)에 대하여 충분히 측정해야 할 것이다. 나머지 모든 중간채널을 상대적인 민감

도에 대해 평가해야 한다. 이것은 3개 채널에서 수행한 것과 중간 채널에서 측정한 것과 비교한다. 어느 디지털 기술은 너무 많은 중간 채널을 가지고 있기 때문에, 두개의 이웃한 중간 채널사이 500 KHz보다 작은 경우에는 어느 채널은 실제 시험에서 빠질 수 있다. 최대 이격 법칙(Maximum separation rule)을 따르는 한, 중간 채널 모든 또는 이들 채널의 조합을 평가할 수 있다. TIS에 대한 자세한 것은 부록 D를 참고하라.

휴대 가능한 장비는 부록 C에 기술한 팬텀의 통화위치에 인접한 두부에서 평가해야 한다. 이 장비 이외의 장비는 자유공간의 장치에서 평가해야 한다. 이 시험을 위해 기지국 가상장치를 필요로 한다. 이 장치는 EUT에서 얻어진 디지털 에러율을 기록하기 위해서 필요하다.

EUT는 특정 시험 채널(들)에서 실제 통화상태에 놓이고, 특정 시험조건에도 놓일 것이다. 기지국 모의실험장치의 RF전력 크기는 구좌표의 각 측정 위치에서 원하는 디지털 에러율이 되도록 조정해야 한다. EUT의 디지털 에러율은 기지국 모의장치에서 이끌어 낼 수 있다. 디지털 에러율에서 신뢰구간이 95% 또는 이보다 좋게 하기 위해 충분히 많은 수의 비트 또는 프레임을 표본화한다. 유효 방사 수신 감도를 측정하기 위한 절차는 일반적으로 송신방사 전력을 측정하는 것보다 정밀도가 낮기 때문에, 실험에 대한 내역은 TIS³에 대해 파이축과 세타축에서 공간적인 이격거리를 30도 까지 완화된 것을 허용된다.

가. 아날로그 TIA/EIA-690

다음 사양에서 권고하는 수신 감도 측정방법은 현재 AMPS에 지원되지 않는다. 따라서 아날로그 수신감도 측정 방법은 상술하지 않는다. 정확한 시험 방법에 대해 정의하면 여기에서 다시 논의할 것이다.

(1) 기준-아날로그 민감도

이 절은 정확한 시험 방법을 채택하면 다시 논의할 것이다.

나. CDMA TIA/EIA-98-D

수신기 민감도를 측정은 95%신뢰성보다 작거나 0.5%의 프레임 에러율(FER)을 갖는 최소 전방향링크 전력으로 EUT의 수신기 감도가 결정되기 때문에 기지국 모의장치를 사용하여 수행되어야 한다. 자유공간에서의 실험구성에 대해서는 부록 A를 참고하라.

‘5. 시험절차 -방사전력’의 ‘나. CDMA TIA/EIA-98-D’에서 정의한 실험구성 파라미터들은 다음사항을 제외하고 사용되어야 한다.

- a) 전방향 링크 전력 : -75 dBm
- b) 전력 제어 : 페루프
- c) 수신기 감도 측정을 위해서는 TIA/EIA-98-D 항 6.5.2.에 설명한 초기값으로 그리고 TIA/EIA-98-D 항 3.5.1과 일치하도록 모든 다른 파라미터를 조정해야 한다.

시험 위치에서 심각한 영점이 발생한다면 전방향 링크 전력을 통화가 유지되거나 통화가 되도록 올려야 한다는 것을 주목하라. EUT를 호출하고 기준 시험 채널에 연결한다. 디지털 음성/트래픽 채널을 형성되면, FER측정을 이용하라

민감도 측정은 구좌표의 각 측정 위치에서, FER이 0.5% 또는 이보다 작은 결과를 얻도록 하는 최소 크기로 조절된 통화모의장치의 RF전력 크기로 해야 한다.

최대 2000프레임의 제한이 있지만 관측된 프레임의 수가 95%신뢰성을 가지고 있어야 한다. RF전력 크기가 CDMA 민감도 크기와 비슷할 때는 전력 조절 크기는 0.5 dB 보다 커서는 안된다.

각 시험 위치에 대해 최종 민감도 측정을 수행할 때, 전력제어 설정은 “항상 크게(Always Up)” 위치에 놓는다. 전방향 링크 전력과 전력 제어 설정은 다음 시험장소로 가기 전에 지정된 초기값으

로 설정해 놓아야 한다. 각 EUT 시험 조건에 대해 FER이 0.5%이거나 작을 때의 최소 RF 전력 크기는 총 등방성 민감도(Total Isotropic Sensitivity :TIS)로 불리는 숫자로 표시되도록 부록 B.2에 따라 적분해야 한다.

EUT가 지원하는 주파수밴드에 대해 앞서 기술한 바와 같이 세 개의 채널(낮은, 중간 그리고 높은 채널)에 대해 TIS를 모두 측정해야 한다. 최대 이격법칙을 따른다면, 중간 채널의 어느 조합이나 모든 채널에 대해 반복하여 측정해야 한다.

중간 채널에서 상대적인 민감도를 측정하는 절차:

- (a) 현재 기준 채널로 사용된 완전히 측정된 채널에서 가장 가까운 주파수에서, 가장 방사에 민감하게 측정된 위치와 편파로 EUT와 챔버 안의 위치 제어기(들)를 변경시켜라.
- (b) 각각의 기준채널에 대해 같은 구좌표의 공간위치에서 디지털 통화 모의 장치의 RF신호 크기를 5 dB씩 증가시킨다.
- (c) 디지털 가상통화장치를 사용하여, 이 시험조건에 대해 적절한 디지털 에러율을 측정하라. FER은 0.5%를 넘어서는 안 된다.

휴대할 수 있는 장비는 부록 C에서 기술한 것처럼 팬텀에 대해 두부와 인접한 통화위치와 자유공간의 실험구성으로 평가해야 한다. 이외의 장비는 자유공간 실험으로 평가해야만 한다.

(1) 기준- CDMA민감도

부록 B.2.3에 설명한 것과 같이 수신기 민감도 TIS는 산업체 분석을 위해서 성능지수로 기록되어야 한다. 보고서들은 확대나 수축되는 EUT안테나를 가지고 측정된 모든 채널에 대해 사용자 구성(적용가능하다면) 및 자유공간 실험에서 얻은 결과가 포함해야

한다.

중간 채널의 시험 결과 중에 상대적인 민감도는 부록 B에 기술한 형식의 파일로 준비되어야 한다.

표 4-19. CDMA RX민감도에 필요한 것들

장비전력(구분)	자유공간 RX 민감도 확장/축소	모의 머리 RX 민감도 확장/축소
Class I	TBD	TBD
Class II	TBD	TBD
Class III	TBD	TBD

다. TDMA TIA/EIA/IS-136-A

수신기 민감도 절차는 구좌표계 측정을 사용한다. 그러나 측정 결과는 EUT가 일반 통화처리 동작모드에 있을 때가 아니라 시험 모드에 있을 때 얻어야 한다. 따라서 EUT를 “루프 백모드(loop back mode)”에 놓일 수 있도록 하는 특정 명령어세트를 시험하기 위해 제조업체로부터 얻어야 한다. 시험 모드 명령어 목록은 TIA/EIA-136-270A, 8절에 설명되어 있다.

디지털 RX민감도 시험을 위해 EUT를 루프백 모드로 설정하려고 한다면, 다음과 같은 명령들을 최종 제조업체에 의해 기술된 순서로 사용될 수 있다.

디지털 루프백 BER 시험을 위한 EUT를 설정하는 방법이 두 가지가 있다. 시험 시설과 제조업체는 시험시간을 최소화하고 재 생산성을 최대화하기 위해 사용할 수 있는 가장 좋은 방법을 결정할 수 있다.

표 4-20. 디지털 루프백 비트 에러율(BER) 시험을 위한 명령들

권고안	설명
TIA/EIA-136-270 SUSPEND	정규모드를 종료하고 시험모드로 들어간다
TIA/EIA-136-270 INIT	송수신기를 초기화 한다
TIA/EIA-136-270 LOAD-SYNTH (LOAD-SYNTH HYPERBAND)	명령 다음에 오는 바이트로 구분된 채널합성기를 맞춘다. (채널과 밴드)
TIA/EIA-136-270 SET-ATTN	명령 다음에 오는 바이트로 구분된 값으로 RF전력 감쇄기를 맞춘다.
TIA/EIA-136-270 DCCH-DGTS	명령 다음에 오는 한 바이트로 구분된 슬롯 할당을 갖는 DCCH 디지털 모드로 바꾼다
TIA/EIA-136-270 TDMAON	전방향 트래픽 채널과 동기 시킨다. 명령 다음에 오는 첫 번째 와 두 번째(각각)한 바이트로 구분된 데이터 형식 및 DVCC로 맞춘다.

방법들은 우선순위로 지정 된다.

- (a) 데이터 케이블을 통한 시험모드 파라미터를 원격 프로그램 래밍하는 법. 가능하면, 제조업체는 시험설비가 EUT를 원격으로 프로그래밍되도록 하는 응용설비와 케이블을 제공해야 한다. 적절한 모드와 채널이 설정되면 EUT외부의 모든 장비는 RX민감도 시험을 수행하기 전으로 돌려놔야 한다.

- (b) 시험 모드 파라미터를 키패드로 프로그램하는 법

시험 설정 파라미터를 사용하여 EUT를 EUT가 최대 전력을 송신하는 것이 확인되는 음성 채널에 연결하라. 디지털 음성채널이 확보되면 BER측정 하라.

일단 EUT가 특정 채널에 대해 루프백 모드에 있으면, 측정된 비트수가 100킬로비트일 때, 기지국 전력은 기지국에서 3% BER (=/- 0.1%⁴)이 측정될 때까지 낮아질 것이다. 3% BER이 되는 최

중 측정 전까지, 측정 장비는 기지국 전력이 충분히 낮은지를 결정하기 위해서 최소 10기로 비트를 사용할 수 있다.

일반적으로, RX 크기측정에서 어느 한 채널의 최고치와 영점의 최고 변동은 30 dB를 넘지 않는다. 따라서 시험 설비는 단지 필요한 BER측정 수를 줄이기 위해 처음 3% BER측정값에서 기지국 전력을 30 dB 올릴 수 있다.

그러나 EUT 측정들 중에 어느 것은 모의 두부가 있을 때 최고치와 영사이 값이 30 dB를 초과할 수 있다. 맨 나중의 민감도(기준) 크기값에서 30 dB 이상 커져야만 한다면, 그 위치에서 민감도는 무시해야 한다.

부록 B.2에 따른 TIS는 EUT에 지원되는 주파수 밴드에 대해 5절에서 기술한 것과 같이 3채널(낮은, 중간 그리고 높은 채널)에 대해 모두 측정한다. 측정은 최대 이격법칙에 따른 다면 중간 채널 조합 또는 모든 채널에 대해서 반복해야 한다.

중간채널에 대한 상대적인 민감도를 측정하는 절차는 다음과 같다.

- (a) 기준 채널로 사용된 완전히 측정된 채널에 가장 가까운 주파수에서 가장 방사에 민감하게 측정된 위치와 편파로 EUT와 챔버 안의 위치 제어기(들)를 변경시켜라.
- (b) 디지털 통화 가상장치의 RF신호 크기로 10 dB씩 증가시킨다. 이것은 각각의 기준채널에 대해 같은 구좌표 공간 위치에서 사용된다.
- (c) 디지털 모의 통화 장치를 사용하여, 이 시험조건에 대해 적절한 디지털 에러율을 측정하라. 측정된 디지털 에러율은 기준 채널의 값을 넘어서는 안 된다.

휴대할 수 있는 장비는 부록 C에서 기술한 것처럼 팬텀에 인접한 통화위치와 자유공간의 실험구성 평가해야 한다. 이외의 장비는 자유공간 실험으로 평가되어야만 한다.

(1) 기준 - TDMA RX Sensitivity

부록 B.2.3에 설명한 것과 같이 수신기 민감도 TIS는 산업체 분석을 위해서 성능지수를 사용하여 기록되어야 한다. 보고서들은 확대나 수축되는 EUT안테나를 가지고 측정한 모든 채널에 대해, 가상의 사용자 구성(적용가능하다면) 및 자유공간 실험에서 얻은 결과가 포함되어야 한다. 각 채널에 대해 3% BER를 발생시킨 기록된 RF크기는 아래에 쓰인 크기와 같거나 이하여야 한다. 중간 채널의 시험 결과 중에 상대적인 민감도는 부록 B에 기술한 바와 같은 형식의 파일로 준비되어야 한다.

표 4-21. TIA/EIA/IS-136-A RX 민감도 요구사항

장비전력(구분)	자유공간 RX 민감도 확장/축소	모의 머리 RX 민감도 확장/축소
Class I	TBD	TBD
Class II	TBD	TBD
Class III	TBD	TBD

라. GSM 1900 3GPP TS 51.010

수신기 민감도 절차는 송신 전력 측정에서 기술한 것같이 같은 구좌표계 측정을 사용한다. 루프 백 모드 시험 설정에 대한 기준 및 절차에 대해서는 GSM05.05와 3GPP TS 51.010을 참고하라. 기지국 모의장치는 EUT를 루프백 모드로 설정할 수 있어야 한다.

송신기 측정에서 정의한 실험설정 파라미터를 이용하여 EUT를 호출하고, EUT가 최고 전력으로 송신되는지를 확인한 음성/트래픽 채널과 연결한다. 디지털 음성/트래픽 채널이 확보되면, BER측정을 해본다. 루프백모드로 놓으면, 측정된 샘플 수가 10킬로비트가 될 때 기지국에서 2.44% ($\pm 0.1\%$ ¹) RBER이 측정되기 까지 기지국 전력은 낮아진다.

일반적으로, RX 크기측정에서 어느 한 채널의 최고치와 영점의 최고 변동은 30 dB를 넘지 않는다. 따라서 시험 설비는 단지 필요

한 BER측정 수를 줄이기 위해 처음 3% BER측정값에서 기지국 전력을 30 dB 올릴 수 있다. 그러나 EUT 측정들 중에 어느 것은 모의 두부가 있을 때 최고치와 영 사이 값이 30 dB를 초과할 수 있다. 맨 나중의 민감도(기준) 크기값에서 30 dB 이상 커져야만 한다면, 그 위치에서 민감도는 무시해야 한다.

부록 B.2에 따른 TIS는 EUT에 지원되는 주파수 밴드에 대해 송신기 성능 측정에서 기술한 것과 같이 3채널(낮은, 중간 그리고 높은 채널)에 대해 모두 측정될 것이다. 최대 이격법칙에 따른다면 중간 채널 조합 또는 모든 채널에 대해서 측정은 반복해야 한다.

중간채널에 대한 상대적인 민감도를 측정하는 절차는 다음과 같다.

- (a) 현재 기준 채널로 사용된 완전히 측정된 채널에 가장 가까운 주파수에서 방사에 가장 민감하게 측정된 위치와 편파로 EUT와 챔버 안의 위치 제어기(들)를 변경시켜라.
- (b) 기준채널에 대해 같은 구좌표의 공간위치에서, 디지털 통화 가상장치의 RF신호 크기를 10 dB씩 증가시킨다.
- (c) 디지털 가상통화장치를 사용하여, 이 시험조건에 대해 적절한 디지털 에러율을 측정하라. 측정된 디지털 에러율은 기준 채널의 값을 넘어서는 안 된다.

휴대할 수 있는 장비는 부록 C에서 기술한 것처럼 팬텀에 인접한 통화위치와 자유공간의 실험구성 평가해야 한다. 이외의 장비는 자유공간 실험으로 평가돼야 한다.

(1) 기준 - GSM 1900 RX 민감도

부록 B.2.3에 설명한 것과 같이 수신기 민감도 TIS는 산업체 분석을 위해서 성능지수로 기록되어야 한다. 보고서들은 확대나 축소되는 EUT안테나를 가지고 측정된 모든 채널에 대해서, 가상의 사용자 구성(적용가능하다면) 및 자유공간 실험에서 얻은 결과가 포함되어 있어야 한다.

중간 채널의 시험 결과 중에 상대적인 민감도는 부록 B에 기술한 바와 같은 형식의 파일로 준비되어야 한다. 각 채널에 대해 2.44%의 RBER를 얻은 기록된 RF크기는 아래 기록된 크기와 같거나 작아야 한다.

표 4-22. GSM-1900 RX 민감도 요구사항

장비 전력 (Class)	자유공간 RX 민감도 확장/축소	모의 머리 RX 민감도 확장/축소
Class I	TBD	TBD
Class II	TBD	TBD
Class III	TBD	TBD

제 3 절 전파연구소 휴대 단말기 안테나 측정 시스템

1. 시스템 개요

제안된 시설은 실내 원거리장 측정 시스템으로, 800 MHz에서 6 GHz(더 높은 주파수측정은 추후 간단한 업그레이드를 통해 가능)의 동작주파수대역에서 안테나의 원거리장 측정과 함께, 800 MHz에서 6 GHz의 동작주파수대역에서 CTIA 인증 측정을 위한 것이다. 시스템은 다음의 주요요소로 이루어진다.

- 가. 안테나 원거리장 측정과 CTIA 인증측정을 위한 RF 시스템
- 나. AUT 위치이동장치와 송신 전원시스템을 포함한 기계적인 시스템
- 다. 컴퓨터 시스템
- 라. 명령 및 제어시스템
- 마. 무반사실 근처에 있는 제어실. 이 제어실은 그림2와 같이 다른 RRL 챔버와 공유됨
- 바. 차폐된 무반사 챔버

제안된 솔루션의 자세한 시스템 블록 다이어그램은 800 MHz - 6 GHz에서 그림 4-20에 나타나있다. 안테나 원거리장 측정을 위해서, 제안된 솔루션은 AL-560-1 방위각 포지셔너 위에 탑재된 AL-DBDR-3g 포지셔너를 이용한다. AL-DBDR-3g 포지셔너는 AUT 측에서 Roll-over-Azimuth를 제공하고 송신안테나 측에서 AL-560-1P15 편파 포지셔너의 정렬 고정장치가 된다.

제안된 Air Sensitivity & Channel Power 측정 시스템의 시스템 블록 다이어그램이 그림 4-21에 나타나있다. Air Link 소프트웨어는 기계와 제어장치를 이용하여 Agilent 8960 기지국 시뮬레이터를 통해 Air Sensitivity & Channel Power 측정을 수행한다.

2. 안테나 원거리장 측정을 위한 RF 시스템

가. RF 시스템 설명

제안된 RF 시스템은 실내 원거리장 측정 시스템으로, 800 MHz에서 6 GHz(더 높은 주파수측정은 추후 간단한 업그레이드를 통해 가능)의 동작주파수대역에서 안테나의 원거리장 측정과 함께, , 800 MHz에서 6 GHz의 동작주파수대역에서 CTIA 인증 측정을 수행한다.

그림 4-20에 안테나 원거리장 측정을 위한 측정시스템의 블록 다이어그램이 나타나있다. 내부 PNA 신호 전원이 RF 신호를 생성하고, 송신기 증폭기를 통해 증폭되어 내부 PNA 커플러(그림에는 없음)를 통해 샘플링된다. 직접적인 RF 신호는 송신 안테나에서 송신되어 AUT포트에서 수신된다. (시스템은RF 스위치와 결합되어 멀티 포트 측정에 사용될 수 있다.)

AUT에서 수신된 RF 신호는 수신부 증폭기에 의하여 증폭되어 다시 PNA로 전달되고, 상대적인 측정을 수행한다. 제안된 송신부 편파 포지셔너가 빠르게 회전할 수 있어, 다른 원형편파 분석 방법들과는 별개로 Spinning Horn 방법에 의하여 원형편파 분석을

수행할 수 있다.

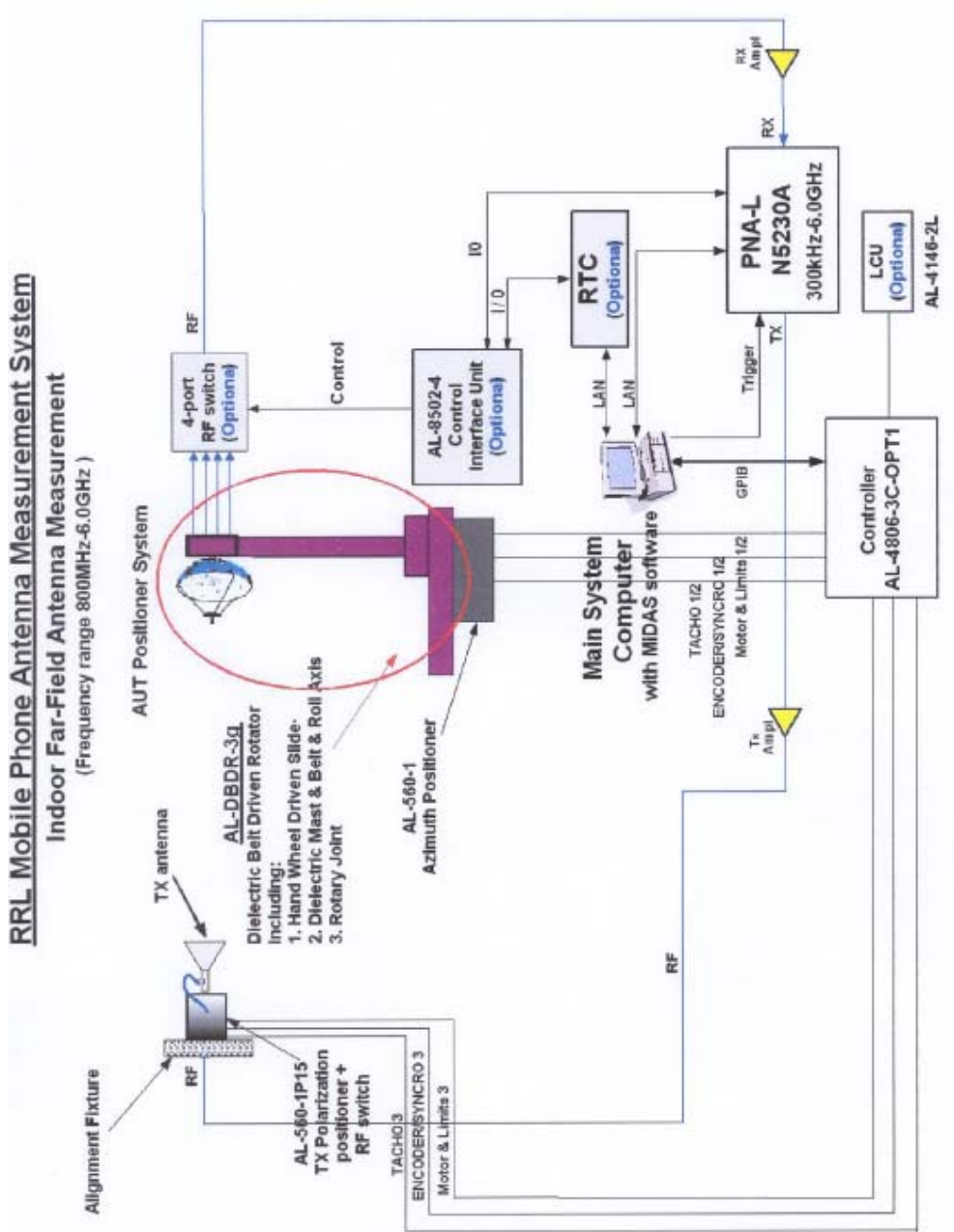


그림 4-20. 전파연구소 휴대 단말기 측정 시스템 블록도

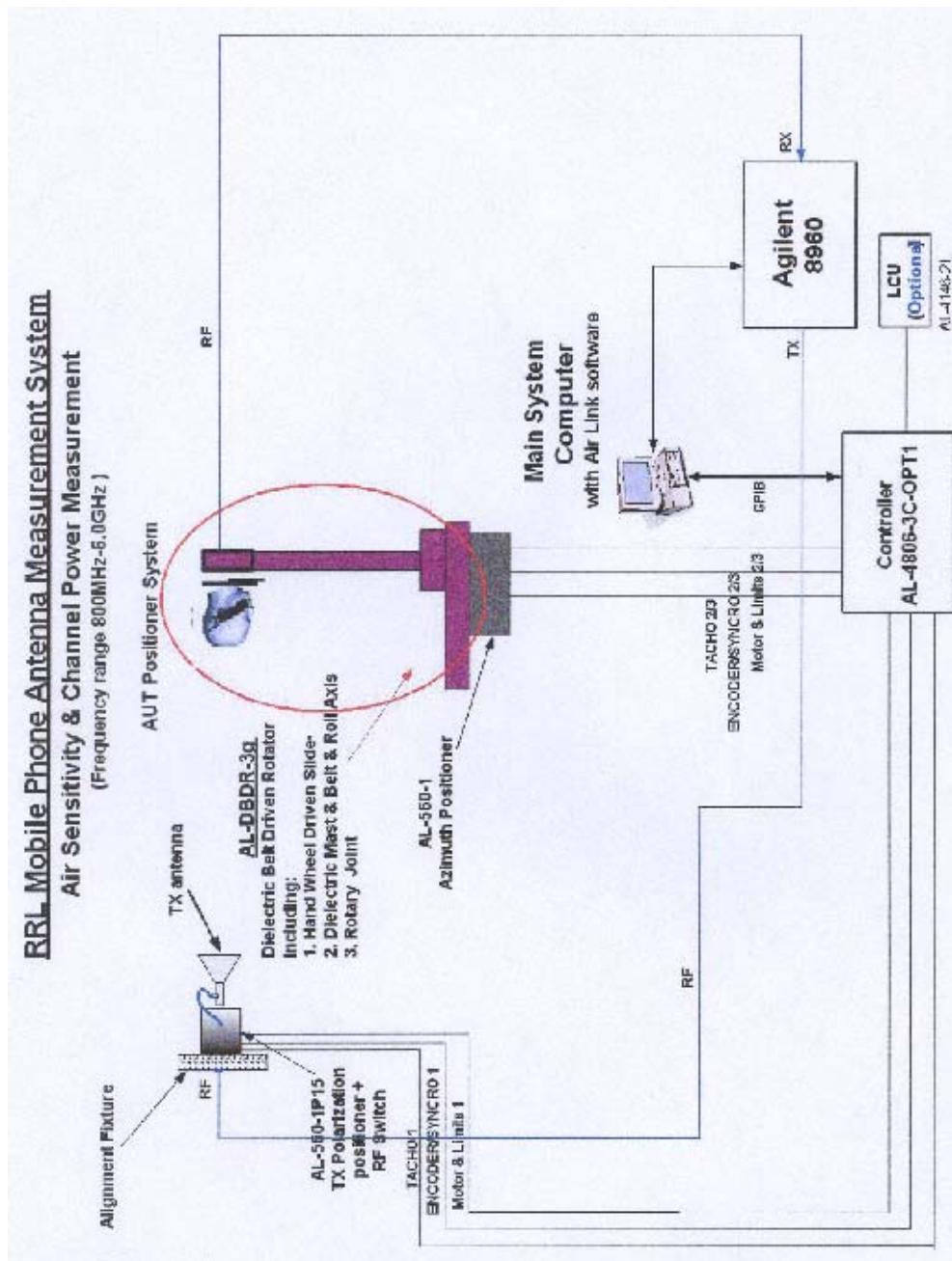


그림 4-21. Air Sensitivity & Channel Power 측정 시스템의
 시스템 블록 다이어그램

부가적으로, 이 시스템은 RTC(Real Time Controller)를 사용하여 액티브 안테나 컴퓨터와 연동할 수 있다. RTC는 Spherical Near-Field (SNF)측정을 위한 업그레이드에도 필요하다. SNF측정은 원거리 영역에서 직접적인 측정을 하기에는 다소 큰 안테나를 측정할 수 있게 해준다.

제안된 시스템 구성은 다음 특징을 보장하기 위해 설계되었다.

- (1) 최소 800 MHz - 6 GHz 의 주파수 영역
- (2) 800 MHz에서 최대 80 cm AUT 사이즈와 CTIA 테스트를 위하여 30 cm 이상의 AUT 사이즈
- (3) 원거리장 측정에서 3.5 미터 이상의 경로 길이와 CTIA 테스트에서 1.5 미터이상의 길이
- (4) 110 dB이상의 수신기dynamic range
- (5) 1×10^9 이상의 측정 주파수 정확도
- (6) 0.8 - 6.0 GHz 에서 ± 0.5 dB 내의 이득 측정정확도
- (7) 70 dB이상의 시스템 dynamic range 보장, 시스템이 isotropic 안테나 레벨에서 최대 파워를 송신할 때 -30 dB 에서 40 dB

요구에 따라, 제안된 시스템에는 0.8 - 6.0 GHz 대역폭을 커버할 수 있는 두 개의 Standard Gain Horns (SGH) 세트가 제공된다.

나. RF 시스템 구성

제안된 RF 시스템 구성은 안테나 원거리장 측정과 CTIA 인증 측정을 수행한다. 두개의 모드가 유일하게 다른 점은 제어 소프트웨어의 형태이다; 안테나 원거리장 측정 프로그램은 MiDAS, CTIA 인증 측정 프로그램은 AIR LINK 측정 소프트웨어.

800 MHz - 6 GHz 주파수 범위에서 작동할 때, 원거리장 측정을 위한 RF 구성은 어떠한 주파수 변환도 수행하지 않고 참조 신호는 내부 PNA 커플러에서 얻어진다. 이경우의 RF 구성은 그림 4-22에 나와 있다.

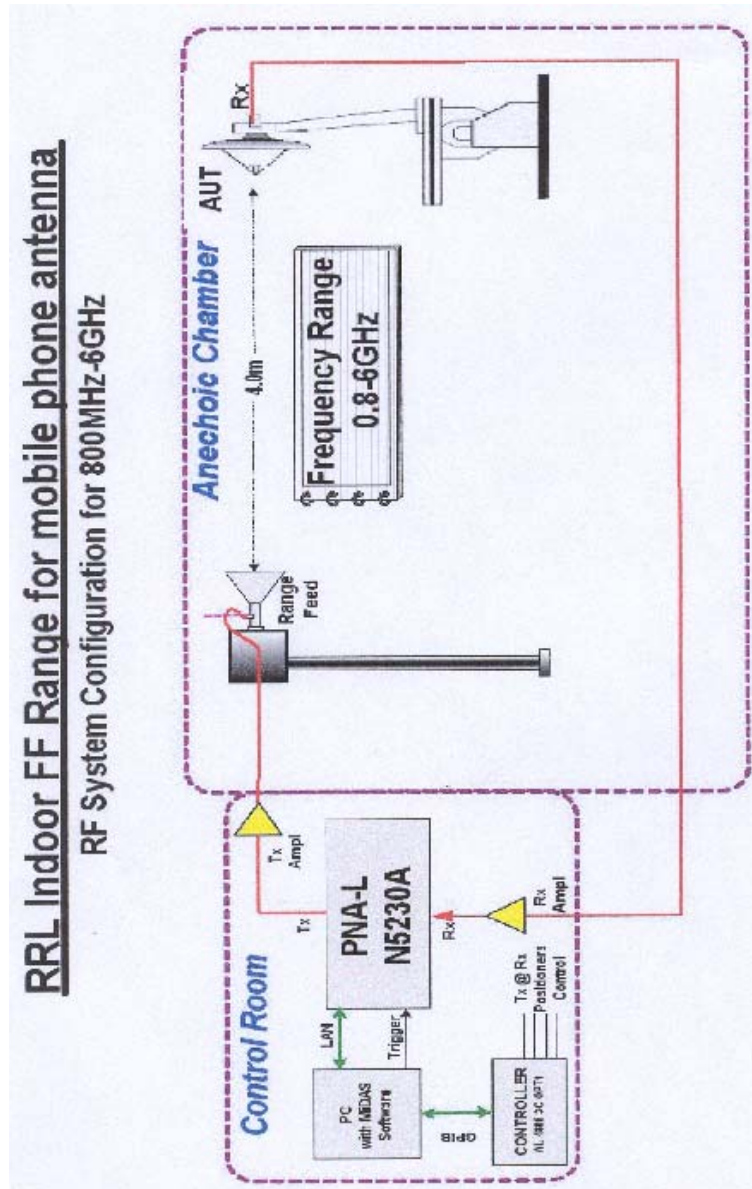


그림 4-22. RF 시스템 구성

제 5 장 결 론

제 5 장 결 론

본 연구에서는 전파연구소에 설치될 안테나 측정 지원센터의 효율적인 사용을 위하여 안테나 측정 방법론과 운용방안에 대하여 연구하였다. 전자파 이용 주파수 대역이 점차 고주파 대역으로 이동하고 있으며, 소형 광대역 안테나들에 대한 연구가 활발히 진행됨에 따라, 정확한 안테나 성능의 측정이 요구 되고 있다.

안테나 측정 시스템은 마이크로웨이브 시스템, 포지셔닝 시스템, 측정장소, 소프트웨어를 이용하여 송수신 안테나를 제어하는 컨트롤러로 구성 된다. 피측정 안테나의 측정은 전자파 무반실 내에서 송신 안테나와 피측정 안테나를 일정한 간격 이상 이격시키고, 포지셔너의 회전을 통하여 이루어진다. 안테나의 방사 특성이 broadside 일 때와 endfire 일 때에 각각의 측정 방법에는 다소 차이가 있으며, 안테나의 구조 및 방사 특성 (선형편파, 원형편파)에 따라서도 안테나를 측정하는 방법이 다양할 수 있으므로 피측정 안테나의 방사 특성을 미리 예측하는 것은 매우 중요하다.

소형안테나는 안테나 포지셔너 보다 그 크기가 작기 때문에 측정시 오차를 발생시키는 요인이 된다. 따라서, 포지셔너에 의한 반사파로부터 받는 영향을 최소화 하고 정확한 방사특성 측정을 위하여 포지셔너의 특정 축을 이동 시키는 등의 작업을 이용하여야 한다. 또한, 피측정 안테나의 원활한 설치를 이용한 지그가 필요하게 된다. 2 GHz, UWB, 5 GHz 등 다양한 주파수 대역에서 동작하는 많은 안테나 들이 있고, 안테나의 크기, 구조, 복사 특성 등이 매우 다양하기 때문에 안테나의 복사 특성을 정확히 예측하고 측정을 하는 것이 측정시 발생하는 오차를 최소화 할 수 있는 방법이다.

전파연구소에 설치될 휴대 단말기 안테나 측정 시스템은 CTIA 인증 프로그램에서 제시한 휴대 단말기 안테나의 측정이 가능하

다. 휴대 단말기 안테나의 측정은 자유공간에서의 측정과 SMA 팬텀을 이용한 측정으로 나눌 수 있으며, 휴대 단말기 안테나가 송신기로 동작할 때는 TRP, 수신기로 동작할 때는 TIS 값을 이용하여 안테나의 성능을 평가한다. 무반사실 시스템의 구성과 운용에 따라 원뿔 측정법과 큰원 측정법의 두가지 측정법이 있으며, CTIA 규정한 방법에 따라 측정은 이루어진다.

본 연구를 통하여 전파연구소의 안테나 측정 지원 센터를 이용한 안테나의 측정 방법을 제시하고, 휴대 단말기 안테나 측정실을 이용한 휴대 단말기 안테나의 측정법에 관해 살펴보았다. 전파연구소 안테나 측정 지원센터에 설치될 전자파 무반사실의 효율적인 사용은 차세대 안테나 측정 방법론 제시, 국제적 기술 흐름에 부합하는 측정 기술 마련, 차세대 안테나 개발 등에 크게 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

[REFERENCES]

- [1] C. A. Balanis, *Antenna theory: analysis and design*, 2nd edition, John wiley & sons, Inc., 1997.
- [2] Warren L. Stutzman and Gray A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, 2nd edition, John wiley & sons, Inc., 1998.
- [3] CTIA Certification program (Cellular Telecommunications & Internet Association Method of Measurement for Radiated RF Power and Receiver Performance).
- [4] IEEE Standard Test Procedure for Antennas, ANSI/IEEE Std 149-1979.
- [5] Evans, Gray E, *Antenna measurement techniques*, Artech House, Inc., 1990.
- [6] Leland H. Hemming, *Electromagnetic Anechoic Chamber: A fundamental design and specification guide*, John wiley & sons, Inc., 2002.

부 록

부 록

부록 A 시험 설치 구성

A.1 시험 설치-일반 설치

이 보고서의 목적을 위해, 두개의 약간 다른 시험실 설치를 기준을 삼는다. 하나는 이 시험계획안에서 “원뿔스캔”시스템이라고 불린 개별 축 설치이다. 다른 하나는 “원형 스캔” 시스템인 통합축 설치이다. 각 설치는 뚜렷한 장단점을 가지고 있다. 이 시험계획안에서 설명한 기준을 만족한다면 서로 바꾸어 설치하는 것도 허용된다. 일반적인 요구사항은 시험 설치가 이동국을 자유공간과 SAM팬텀의 두부와 인접한 위치 양쪽에서 평가할 수 있는가 하는 것이다(부록 C를 보라).

A.2 시험 설치-내부시설 및 좌표계

시험장소는 부록 C와 일치하도록 SAM두부팬텀과 지지국(MS)을 지지할 수 있어야 한다. 지지를 위한 하드웨어와 위치제어기는 RF를 충분히 통과시키는 물질로 만들어야 한다. 이런 목적을 위해 강력히 권고되는 물질은 발포된 폴리스티렌(스티로포움TM:StyrofoamTM)과 파이버그래스TM(FiberglassTM)판 재료이다.

MS(이동국)는 필수적으로 3개의 다른 위치(자유공간, 오른쪽 두부의 인접한 곳 그리고 왼쪽 두부의 인접한 곳)에서 평가되어야 하기 때문에, 이들 조건에 모든 만족하기 위해서는 MS의 지지구조물설계나 제작하는 데 상당한 주의를 가져야 한다.

두 시험 장소 각각에 대한 예는 서로 다른 MS용 지지 구조물을 가질 수 있다. 그러나 MS 및 SA두부팬텀에 대한 기준 축들은 시험장소 구조와는 독립적으로 같게 있어야 한다. 그림 A-1과 A-2는 자유공간 조건에 대한 MS의 두 경우의 형태에서 기준 축을 보인 것이다. 양쪽의 경우에서, MS의 종축방향은 Z축이고 오

른손 법칙을 사용하여 X축과 Y축을 결정한다.

그림 A-1 고정된 MS
좌표계-자유공간

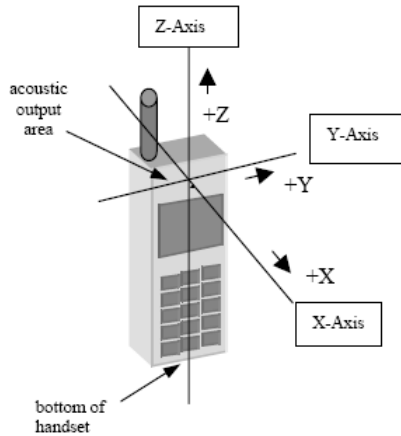
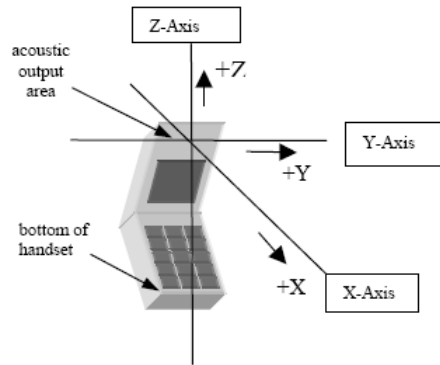
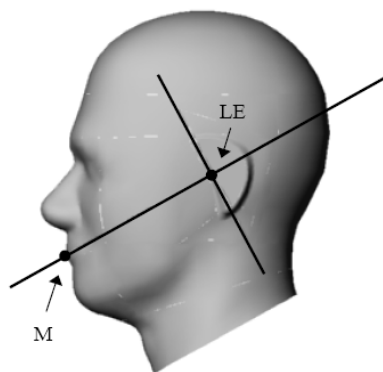


그림 A-2 접는 방식의
MS좌표계-자유공간



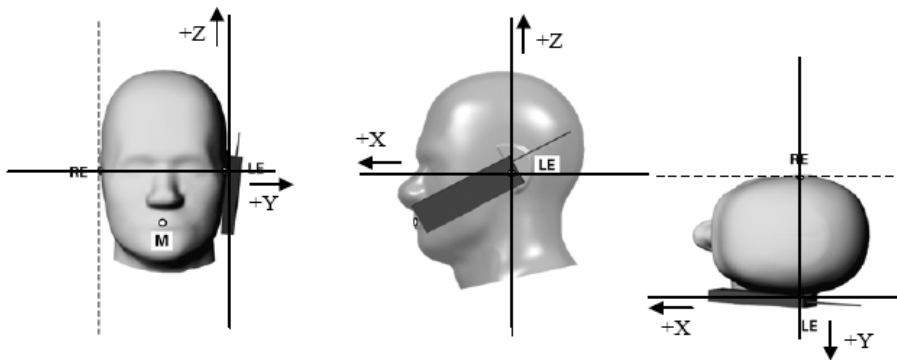
아래의 그림 A-3은 SAM두부 팬텀의 옆모습을 보인 것이다. 왼쪽 귀 위치(LE)와 입의 위치(M)를 표시 되어있다. 팬텀의 오른쪽 면에 대응되는 쪽에 오른쪽 귀(RE) 위치가 있다. LE에서 M까지의 직선이 장축과 나란히 일직선상에 있다면, 입(M)의 위치는 자유공간의 Z축과 같음을 주목하라.

그림 A-3 입과 귀 위치가 표시된 SAM 팬텀



아래의 그림 A-4는 MS가 두부에 인접하게 위치했을 때 사용되는 좌표계를 나타낸 것이다. 이 경우 Z축은 SAM두부 팬텀의 위쪽으로 뻗어나가며, X와 Y축을 결정하기 위해 오른손 법칙을 사용한다. 왼쪽그림에 나타난 것처럼 Y축이 왼쪽 귀,LE,를 통과함을 유의하라. 오른쪽에서 두부와 인접한 곳에서 시험할 때는 Y축은 그림 A-4에서 점선으로 그려진 선처럼 오른쪽 귀,RE,를 통과해야 한다.

그림 A-4 MS좌표계-SAM 두부팬텀에 인접한 두부좌표



A.3 시험 설치-자유공간

두개의 기준 시험실 설치는 각각 서로 약간씩 다른 자유공간구성과 두부인접 구성을 갖는다. 이것은 챔버 축 설치가 다르기 때문이다. 그러나 그림 A-1,A-2와 A-5의 MS좌표계는 MS의 물리적인 방향과는 독립적으로 적용된다. 아래의 그림 A-5는 자유공간에서 원형 스캔 시스템을 이용하기 위한 대표적인 설치 예를 나타낸 것이다. 그려진 쉼타 축회전 이외에, MS는 전체 구좌표틀에서 측정할 수 있도록 Z축(파이축)으로 회전시킬 수 있어야 한다.

그림 A-5 원형스캔의 대표적인 설치-자유공간

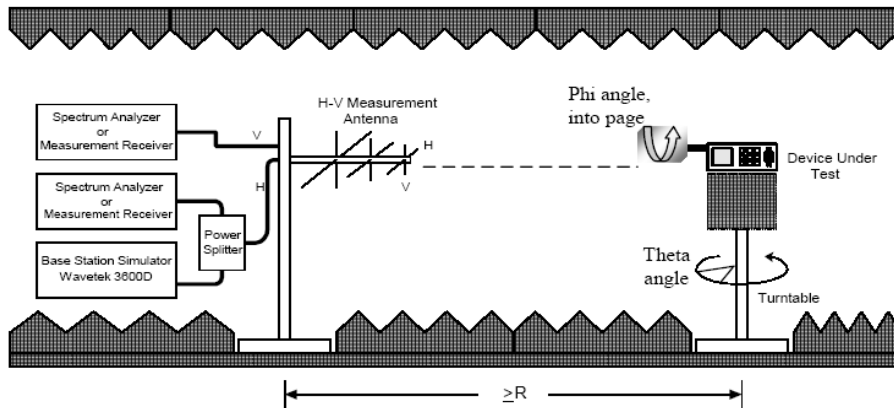
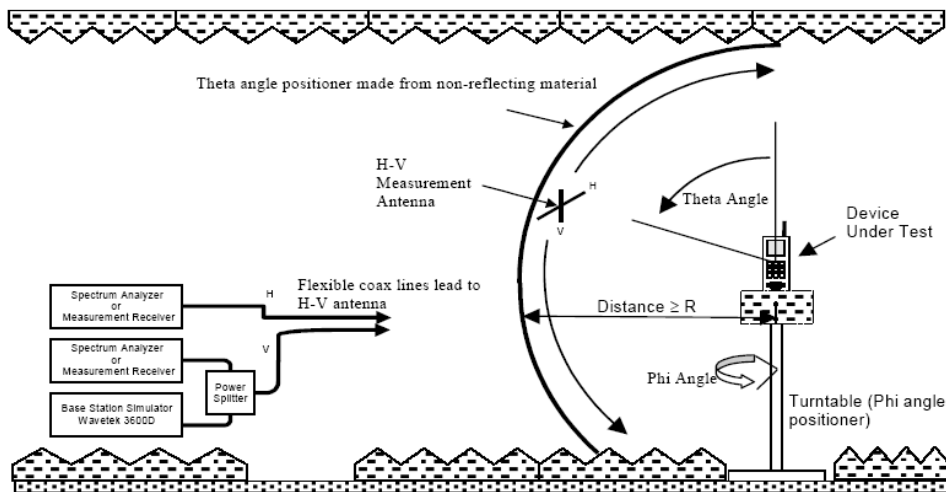


그림 A-6은 자유공간에서 원뿔 스캔 구성을 사용하기 위한 대표적인 설치 예를 보인 것이다. 이 구성에서 파이와 켄타 각도는 시험실안의 개별적인 위치제어기에 의해 움직여야 한다.

그림 A-6 원뿔스캔의 대표적인 설치-자유공간



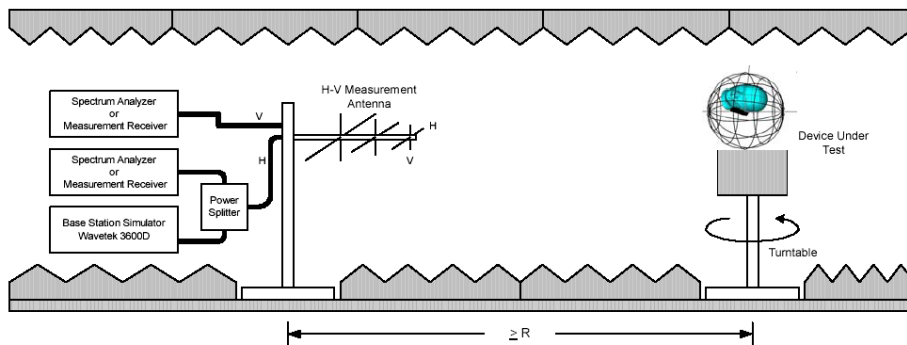
A.4 시험 설치-팬텀 또는 두부-인접한곳

두 기준에 맞는 시험실 설비 설치하는 자유공간 구성이 서로 다르기 때문에 각각 서로 다른 팬텀 구성을 가지고 있다. 각각의 팬

템 구성은 그림 A-3에 그려진 것처럼 MS 자체 대신에 왼쪽과 오른쪽 귀의 위치(LE와 RE)가 회전축의 중심에 놓여 있어야 한다는 점을 빼고는 사실상 자유공간 구성과 같다. 그림 A-7은 원형스캔법 설치를 위한 SAM 두부팬텀의 방향을 보인 것이며, 그림 A-8은 원뿔 스캔 설치를 위한 SAM두부 팬텀 방향을 나타낸 것이다.

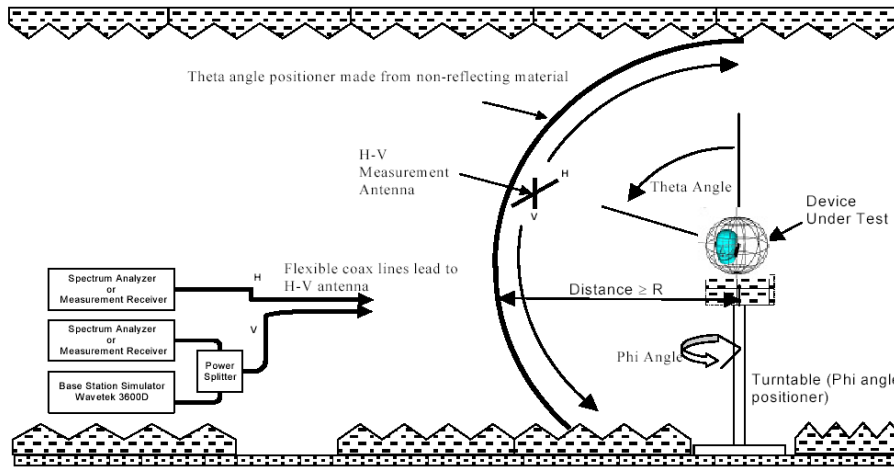
위의 두 설치에서, 자유공간 설치에 대한 각각의 팬텀 방향은 MS방향과 같음을 유의하라. 시험실안에서 좌표계 방향이 다른 것을 보여주기 위해 팬텀 주위에서 각 구성을 위한 좌표계 모델을 보인 것으로 아직 팬텀방향에 대해 일치된 방향이 아니다.

그림A-7 대표적인 설치-팬텀이 있을 때 원형스캔



그림A-8에 그려진 것처럼 두부가 똑바로 서 있고 수평면에서 회전하고 있을 때를 빼고는, 원뿔스캔 시스템은 원형스캔 시스템에서 측정 한 점들과 동일한 점(셰타, 파이)들을 측정한다.

그림A-8 대표적인 설치-팬텀이 있을 때 원뿔스캔



부록B시험결과기록

시험 보고서와 파일들은 이 절에서 설명하는 것처럼 작성되어 있어야 한다. 제출할 것들은 교체부품 데이터 파일과 EUT 측정 부분 데이터 파일로 구성된다. 데이터는 신뢰성 있게 현장 성능과 상호관계를 결정하기 때문에 데이터는 보고 돼야 한다. 합격과 불합격 기준은 시험계획을 제출하는 데에서 평가되지 않는다. 그러나 측정값에 대한 충분한 분석이 이루어진 다음에, 추후 배포물에 설명할 것이다.

모든 제품에 대한 시험 데이터는 다음 세 가지 방법으로 제출돼야 한다:

- 1) 모든 시험의 측정 데이터들은 컴퓨터로 쉽게 읽을 수 있는 형식이어야 한다. (예:엑셀 등)
- 2) 요약된 시험 보고서 양식(표 B-1)을 작성해야 한다.
- 3) 대표적인 조사각도에서 본 중간 채널 패턴의 3차원 그림 (표 B-2)들

요약면과 그림(표B-1과 표 B-2)들은 분리된 서류철에 포함돼야 하고 제출되는 시험보고서 시작에도 포함시켜야 한다. 실패한 시

험 조건들을 나타낸 TIS요약 시험서에 중간 채널 시험동안 실패한 것들을 설명하는 것을 빼고는, TIS요약 시험 보고서는 TRP요약 시험보고서와 같은 형식으로 해야 한다.

시험보고서는 어느 특정 조건 즉, 실험실이 시험에 적격함을 인정한다는 조건을 기입해야 해야 한다. 이들 조건들은 시험 결과에 영향을 줄 수도 있다. 시험보고서 표지 앞 위쪽에 그리고 불확실성을 계산한 시험 보고서안에 이와 같은 설명이 각각 기입돼야 한다.

표 B-1 요약 시험보고서

Manufacturer	
Model	
Serial Number/ESN/IMEI	
FCC ID Number	
Hardware Version	
Software Version	

band	채널	주 파 수 (MHz)	TRP(dBm)		NHPRP ± 45 (dBm)		NHPRP ± 45 (dBm)	
			FS	SAM	FS	SAM	FS	SAM
				L: R:		L: R:		L: R:
				L: R:		L: R:		L: R:
				L: R:		L: R:		L: R:

FS=자유공간,SAM=SAM두부 패턴

표 B-2 그림결과를 위한 요약 시험 보고서

셀룰라 밴드		PCS밴드	
TRP	TIS	TRP	TIS
자유공간 위로 향 한 안테나	자유공간 위로 향 한 안테나	자유공간 위로 향 한 안테나	자유공간 위로 향 한 안테나
자유공간 아래로 향한 안테나	자유공간 아래로 향한 안테나	자유공간 아래로 향한 안테나	자유공간 아래로 향한 안테나
팬텀 위로 향한 안테나	팬텀 위로 향한 안 테나	팬텀 위로 향한 안테나	팬텀 위로 향한 안 테나
팬텀 아래로 향한 안테나	팬텀 아래로 향한 안테나	팬텀 아래로 향한 안테나	팬텀 아래로 향한 안테나
* 팬텀의 오른쪽면을 사용한다.			

B.1 EUT측정부분 데이터 파일들

생산정도, 공장설비 그리고 공정 등을 이용하여 단계적으로 만들어진 하나의 표본화한 EUT에 대해 측정을 수행한다. 표 B-3에 개략적인 설명을 한 것처럼 추가적인 조사와 계산을 위해 구좌표 스캔 패턴 데이터는 접근이 용이한(즉, 읽어 들일 수 있는) 형식으로 되어있어야 한다(CTIA는 공간적으로 평균한 양을 계산하거나 이들 데이터를 기록하기 위한 용지들을 준비할 것이다). 기록할 패턴 데이터는 부록D에 정의한 것처럼 송신시험인 경우 유효등방성 방사전력(EIRP : Effective Isotropic Radiated Power)이고, 수신시험인 경우는 유효등방성 민감도(EIS : Effective Isotropic Sensitivity) 데이터이다. EIRP 및 EIS모두 단위는 dBm으로 기록해야 한다. EUT를 지원하는 주파수 밴드의 조합과 각 모드에 대해 설명한 것같이, 송신과 수신 시험에 대해 완전한 구좌표 패턴 데이터를 준비해야 한다. (3개의 다른 채널) × (2개의 서로 다른 안테나 구성, 적용가능하다면) × (3가지 다른 시험조건). 예외는 아날로그동작 모드를 위해 필요한 수신 시험 데이터는 필요하지 않는 것이다.

원형스캔이나 원뿔스캔 시스템에 대해, 각 송신 시험한 구좌표 스캔 파일은 11개의 세타면 × 24개의 파이면 × 2개 편파에 대한

측정이 포함돼야 한다. 각 면에 대해 15도씩 회전하여 측정한 표본들을 기초로 하여, 각 송신시험 파일에 528개의 측정 데이터를 기록해야 한다. 각 수신 시험한 구좌표 스캔 파일은 5개의 세타면 × 12개의 파이면 × 2개 편파에 대한 측정이 포함돼야 한다. 각 면에 대해 30도씩 회전하여 측정한 표본들을 기초로 하여, 각 수신 시험 파일에 120개의 측정 데이터를 기록해야 한다.

구좌표 패턴 데이터이외에, EUT가 지원하는 각 디지털 모드와 각 밴드에서, 수신시험, 추가한 중간 채널에서 채널당 적절한 BER또는 FER 결과를 보이는 파일도 필요하다. 중간 채널 수신 시험파일에서 기록한 채널의 수와 내용은 본문에서 기술한 것처럼 모드(다중접속방법)에 따라 변한다.

6 “채널”은 송신과 수신에 대한 적절한 주파수 쌍을 가리킨다.

7 “안테나 구성”은 이 기능을 지원하는 EUT에 대해 전개하거나 접히는 안테나를 가리킨다.

8 “시험조건”은 부록 A에 설명한 것처럼 자유공간, 모의 두부 왼쪽 귀 그리고 모의 두부 오른쪽 귀이다.

표 B-3 송신시험(위)와 수신시험(아래)에 대한 EUT측정부분 데이터 파일 형식 예

측정 날짜	2002년 8월24일
장비 제조업체/모델	Acme 2000
TX 주파수	CH _i -TX
RX 주파수	CH _i -RX
안테나(축소,확대)	확대
시험조건[자유공간,모의두부왼쪽,모의두부 오른쪽]:	자유공간

(degree)	췌타편과 TX EIRP(dBm)				파이편과 TX EIRP(dBm)			
	0 j=0	15 j=1	· · ·	345 j=M-1	0 j=0	15 j=1	· · ·	345 j=M-1
15 i=1	111.1	111.1	· · ·	111.1	111.1	111.1	· · ·	111.1
30 i=2	111.1	111.1	· · ·	111.1	111.1	111.1	· · ·	111.1
·	·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·	·
165 i=N-1	111.1	111.1	111.1	111.1	111.1	111.1	111.1	111.1

(degree)	췌타편과 TX EIS(dBm)				파이편과 TX EIS(dBm)			
	0 j=0	30 j=1	· · ·	330 j=M-1	0 j=0	30 j=1	· · ·	330 j=M-1
30 i=1	222.2	222.2	· · ·	222.2	222.2	222.2	· · ·	222.2
60 i=2	222.2	222.2	· · ·	222.2	222.2	222.2	· · ·	222.2
·	·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·	·
150 i=N-1	222.2	222.2	222.2	222.2	222.2	222.2	222.2	222.2

B.2 공간적으로 평균한 양들

여기서는 공간적으로 평균한 방사 EIRP와 민감도를 계산하는데 사용한 수치들을 정의한다. 이들 얻어진 수치 결과는 정보를 제공하는 것이 목적이며 장비의 합격이나 불합격을 위해 CTIA는 이 결과를 이용하지 않는다. 다른 제품들의 성능의 추세를 관측하기 위해 성능지수를 사용하기 것이 목적이다.

공간적으로 평균한 유효방사전력과 민감도 값은 측정된 데이터로부터 얻어야 한다. 공간 평균은 모든 양각에 걸쳐 사인 췌타 가

중치($\sin(\theta)$) 평균처럼 계산되어진다. 균일한 가중(weighting)은 모든 방위각에 걸쳐 평균하는 데 사용된다. “사인-췘타 가중 평균”은 수직 천정과 수직 천저보다는 수평 데이터에 가중을 두는 평균을 하기 위한 것이다. 이 평균방법은 췘타와 파이에서 균일하게 표본화했을 때 사용하는 것이 적당하다.

N과 M은 각각 췘타와 파이의 각도 간격의 수이다. N과 M은 송신 및 수신측정에 대해 다르다는 것에 유의하라. 송신 시험인 경우에는 $N = 12$ 과 $M = 24$ 이고 수신시험인 경우에는 $N = 6$ 과 $M = 12$ 이다. 두 경우에서, 각 췘타와 파이의 표시는 표B-3에 나타난 것과 같이 측정 각도에 대응되는 i와 j로 표현한다. 완전한 용어 정의는 부록 D에 있다. 표 B-2에 설명했다듯이 패턴 데이터(EIRP나 EIS값)는 단위 dBm으로 기록되지만, 계산을 하기위해 이 데이터를 밀리와트(mW)로 바꿀 수 있다.

B.2.1 총 방사전력

췘타를 N그리고 파이를 M간격으로 하여 완전 구모양으로 측정하였다고 하면, 총방사전력은 다음과 같이 계산할 수 있다.

총 방사 전력:

식 B-1

$$TRP \cong \frac{\pi}{2NM} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} [EIRP_{\theta}(\theta_i, \phi_j) + EIRP_{\phi}(\theta_i, \phi_j)] \sin(\theta_i)$$

B.2.2 근접-수평 부분방사 전력

췘타를 $N=12$ 그리고 파이를 M간격으로 하여 완전 구 모양으로 측정하였다고 하면, 근거리 수평면에서 부분방사전력은 다음과 같이 계산할 수 있다.

수평면에 가까운 $\pm 45^\circ$ 도 걸친 방사전력:

식 B-2

$$\text{HRP}_{\pm 45} \cong \frac{\pi}{2NM} \sum_{i=3}^9 \sum_{j=0}^{M-1} [EIRP_{\theta}(\theta_i, \phi_j) + EIRP_{\phi}(\theta_i, \phi_j)] \sin(\theta_i)$$

수평면에 가까운 $\pm 30^\circ$ 도 걸친 방사전력:

식 B-3

$$\text{HRP}_{\pm 30} \cong \frac{\pi}{2NM} \sum_{i=4}^8 \sum_{j=0}^{M-1} [EIRP_{\theta}(\theta_i, \phi_j) + EIRP_{\phi}(\theta_i, \phi_j)] \sin(\theta_i)$$

B.2.3 총 등방성 민감도

세타를 N그리고 파이를 M간격으로 하여 완전 구 모양으로 측정하였다고 하면, 총 등방성 민감도는 다음과 같이 계산할 수 있다.

총등방 민감도:

식 B-4

$$\text{TIS} \cong \frac{2NM}{\pi \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} \left[\frac{1}{EIS_{\theta}(\theta_i, \phi_j)} + \frac{1}{EIS_{\phi}(\theta_i, \phi_j)} \right] \sin(\theta_i)}$$

여기서 EIS는 각 방향과 편파에 대해 측정한 방사되는 유효등방성 민감도이다.

B.2.4 근접-수평 부분 등방성 민감도

세타를 N=6 그리고 파이를 M간격으로 하여 완전 구 모양으로

측정하였다고 하면, 수평면 가까운 곳의 부분 등방성 민감도는 다음처럼 구할 수 있다.

수평면에 가까운 $\pm 30^\circ$ 결친 민감도는
식 B-5

$$\text{NHPIS}_{\pm 30} \cong \frac{2NM}{\pi \sum_{i=2}^4 \sum_{j=0}^{M-1} \left[\frac{1}{\text{EIS}_\theta(\theta_i, \phi_j)} + \frac{1}{\text{EIS}_\phi(\theta_i, \phi_j)} \right] \sin(\theta_i)}$$

B.3 3차원 그림

기록된 각 EUT에 대해 그림을 제출해야 한다.

B.4 교체부분 데이터 파일(균일장영역과 경로손실)

측정에 사용한 경로손실 항을 포함한 파일은 CATL검증 절차 일부로서 준비되어야 한다.

부록C. SAM두부팬텀과MS시험위치

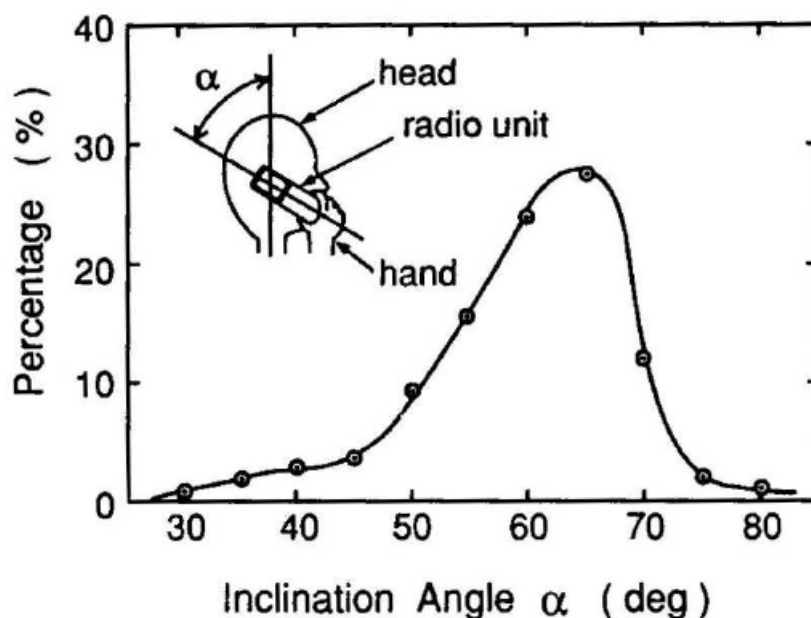
C.1 SAM 두부팬텀-기준정보

이 부록은 SAM두부팬텀 조건을 규정한다. 일반적으로 MS는 SAM두부팬텀에서 통화위치인 두부근처에 놓인다. 이 시험 계획에서 두부근처 통화위치는 2003년 4월4일 IEEE Std 1528-2002 Draft CBD 1.0에 기술한 것과 같이 “뺨(cheek)” 또는 “접촉(touch)위치와 같다. 팬텀조건은 IEEE표준의 “SAM”두부 팬텀을 택했다. 기준 정보에 대해서는, K. Fujimoto과 J.R. James가 지은 *이동 안테나시스템 핸드북*⁹에 대화 시 휴대폰을 잡는 통화자의 대표적인 경사각에 대한 자료가 있다.

그림 C-1은 위의 핸드북에 나온 경사각이며 여기서는 단지 참

고로 제시한다. 정확한 각도나 SAM 두부팬텀에서 MS의 위치와 각도를 결정하는 것은 MS제조업체가 하도록 한다.

그림 C-1 경사각도에 대한 통계(출처:K. Fujimoto 과 J.R. James)



C. 2 IEEE SCC34 “SAM” 모형인간 두부 기준에 대한 자료

IEEE 표준 조정 위원회 34는 특정한 인체모형, 또는 SAR에 사용되는 두부모형인 “SAM”을 정의하였다. 귀 뒷부분과 머리사이의 거리를 제외하고, 미 육군(1989년 Gorden 등에 의한)이 발표한 것과 같이 성인남자의 90백분위수 두부치수를 이 두부모양은 인체 데이터를 기초로 한 것이다. 방사측정에 대한 두 방법 사이의 일관성을 유지하기 위해, 이 시험계획안에 따른 모든 측정은 거의 같은 팬텀두부 정의를 적용할 것이다.

그림 C-2는 IEEE SCC34 “SAM” 모형 두부 모델에서 파란색 부분은 표준지역이고 은색 부분은 단지 참고용으로 측정되는 부분을 나타낸다.

두부제조나 MS위치에 대한 자세한 내용은 2002년 4월4일 IEEE Std 1528-2000 Draft CBD 1.0 에 있다. 그러나 IEEE 표준 보고서가 두개의 측정 위치에 대해서만 자세히 기술되어 있는 반면에, 이 시험계획안은 MS를 단지 “뺨” 또는 접촉위치에 시험하는 것을 규정하고 있다. (부록 C.4를 보라)

팬텀의 표피는 낮은 유전율(5.0미만), 저손실물질(손실탄젠트가 0.05미만) 그리고 송수화기가 닿는 모든 면적에서 두께가 2.0 ± 0.2 mm를 가져야 한다.

그림C-2 앞,뒤 그리고 옆면에서의 SAM 두부팬텀



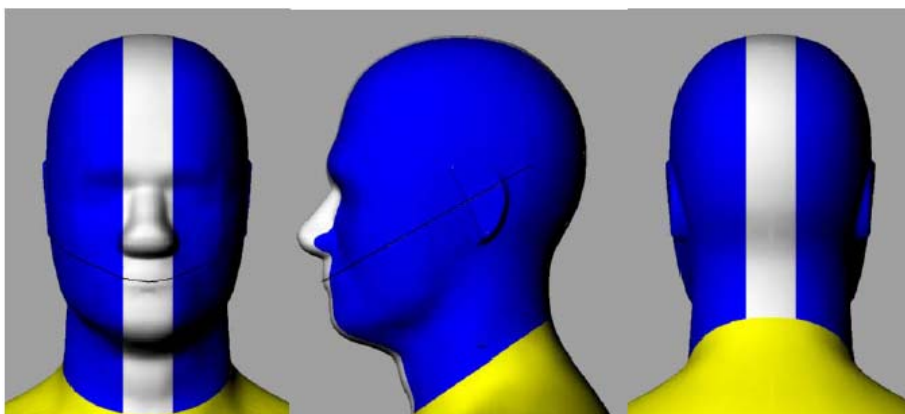
그림 C-2에 나타난 RE와 LE는 오른쪽과 왼쪽 기준 귀의 위치를 각각 나타낸 것이다.

이 시험계획안에 사용하는 것에 대해서는, CENELEC EN50361: 2001에 주어진 참고 데이터에 의해 IEEE SAM 모델을 목 부분 아래까지 확장시킨다. 이렇게 되면 전체 높이는 $300 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ 이 된다. (두부가 수평위치에서 보일 있을 때 머리 꼭대기에서 받침대 밑까지)

받침대 외곽 너비는 대칭적으로 $225\text{mm} \pm 2\text{mm}$ 이다. 그림 C-3에 팬텀이 있다. 노란색은 참고적으로 CENELEC 데이터를 나타낸다.

위의 내용과 관련된 그림 C-3은 두부팬텀 표피의 크기와 모양을 정의한 것이다. 그러나 받침대를 봉인하기 위한 그리고/또는 유동물질을 채우거나 비우기 위한 조항을 만들어야 한다. 두부의 유동물질을 비우거나 채우기 위한 구멍(들)의 위치에 대한 특별한 조건은 없다: 이것이 확실하게 이 시험 계획의 측정에 방해되지 않는다고 하면 이 구멍(들)은 두부 안이나 표면 어느 곳이든 위치할 수 있다. 두부의 위나 목 부분의 안쪽 어느 것이나 유동물질을 채우는 구멍을 만드는 데 가장 많이 사용될 수 있다는 것을 예상할 수 있다. 밑 부분을 막은 관에는 채우거나 비우는 구멍(들)이 있을 수 있다: 이관은 유전율이 5.0미만이고 손실탄젠트가 0.05미만인 물질로 만들어야 한다. 유동물질을 채우고 비우는 구멍(들) (그리고 부수물인 마개(들)/뚜껑(들)/등등)을 포함하거나 팬텀을 지탱하는 것은 추가적으로 13mm 미만의 두께를 가져야 하며 팬텀 외부 밖으로 나와 있지 않아야 한다.

그림 C-3 필요한 SAM두부팬텀



C.3 모의 두부용 유동액 만드는 법

이 시험계획에 규정하는 가짜 피부조직은 상대적으로 간단하게 설탕/물을 바탕으로 한 혼합물이다. 이 같은 혼합물은 일반 회사 (Schmidt 와 Partner [1])들에 의해 시판되거나 가까운 곳에서 혼

합할 수 있다. 필요한 성분과 무게를 기준으로 한 혼합 비율은 표 C-1과 같다.

표 C-1 가짜 조직 성분과 혼합 비율

성분	무게에 대한 백분율
물	45.3
설탕	54.3
HEC (Hydroxyethylcellulosis)	0.3
Bactericide (Dowicil™ 75)	0.1

모의 피부조직은 허용오차 $\pm 10\%$ 내에서 표 C-2처럼 RF 유전체 성질이 유지되어야 하고 검증되어야 한다. 애질런트 유전체 프로브 키트 모델 85070D[2]와 같이 상품화된 측정 장비를 사용할 수 있다. 좋은 결과를 위해서는 역시 슬롯선로 측정 방법을 사용한다. 이 방법은 문헌[3]에 설명되어 있다. 모의 피부조직의 유전체 성질을 검증을 위해서는 충분한 주파수 간격에 대해 이 시험 계획안이 요구하는 $\pm 10\%$ 를 보증해야 하는 것에 주의해야 한다.

표 C-2 모의 유전체 조직 성질

모의피부를 위한 유전체 특성			
주파수밴드	Er	S/m	
835 MHz	48	0.70	
1900 MHz	41	1.7	

- [1] "Application note: recipes for brain tissue simulating liquids", Schmidt & Partner Engineering AG Application Note, Switzerland, 03/1999. Web: <http://www.speag.com>
- [2] Agilent 85070D Dielectric Probe Kit, Agilent Technologies Inc, web: <http://www.agilent.com>

[3] "Basics of Measuring the Dielectric Properties of materials,"
Hewlett-Packard Company, Application Note 1217-1.

C.4 SAM두부팬텀에서 EUT 뺨의 위치 정의

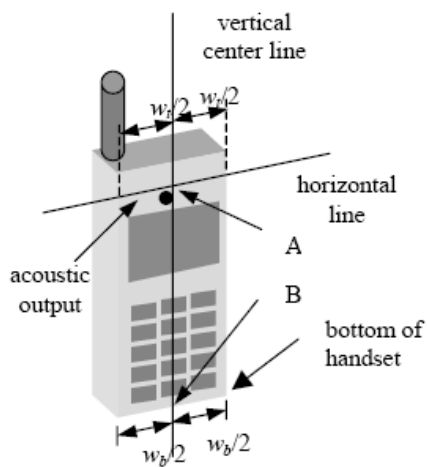
“뺨”위치는 다음과 같이 정의한다:

- a) 필요하다면, EUT를 동작할 준비를 한다. 예를 들면 덮개가 있다면 덮개를 벗긴다.
- b) EUT위에 가상의 두 선을 정의한다: 수직중심선과 수평선. 수직 중심선은 EUT앞쪽의 두 점을 지나야 한다: 귀 높이에서 EUT의 너비 w_t 의 중심(그림 C-4와 그림 C-5의 점 A)과 EUT 밑 부분의 너비 w_b 의 중심점(점B). 수평선은 수직 중심선과 수직이며 귀의 중심을 통과한다(그림C-4를 보라). 두 선은 점A에서 교차한다. 대부분 EUT에서는, 귀의 중심과 점 A는 일치하지만 귀가 수평선의 다른 곳에 위치할 수도 있다는 점을 유의하라. 특히, 접는 방식의 EUT, 플립형 EUT 그리고 예외적인 모양의 EUT에 대해서는 수직선도 EUT의 전면과 평행할 필요는 없다(그림 C-5를 보라)는 점을 유의하라.
- c) SAM 두부팬텀 표면에 가깝게 EUT를 위치시켜 점A가 팬텀위의 LE와 RE점을 지나는 선의 연장선상(그림 C-6을 참고)에 있도록 하고, 전화기의 수직중심선과 수평선으로 이루어진 평면은 팬텀의 시상봉합면과 거의 평행하도록 한다.
- d) EUT를 송수화기가 귀에 닿을 때까지 RE와 LE를 지나는 선을 따라 팬텀을 향하도록 이동시킨다.
- e) 이면에 EUT를 있도록 유지시키면서, 수직중심선이 MB선을 포함한 MB-NF와 수직되는 평면(기준면이라 한다)에 위치할때까지 LE-RE선 주위로 EUT를 회전시킨다.
- f) 전화기(수평선)가 NF선에 대해 대칭이 될 때까지 수직중심선 주위로 EUT를 회전시킨다.
- g) 기준면에 수직중심선이 있도록 하면서, 점A를 RE와LE를 지나

는 선상에 유지시키고 EUT를 귀의 면에 닿도록 하면서, EUT 위의 점들이 귀 아래 팬텀 한 점과 만날 때까지 EUT를 NF선 주위로 회전시킨다.

* 이 부분은 4월 4, 2002 년에 발간된 IEEE Std 1528-2002 Draft CBD 1.0 를 개작한 것이다

그림C-4 MS 수직 및 수평
기준선-고정 모델



그림C-5 MS 수직 및 수평
기준선-“접는” 모델

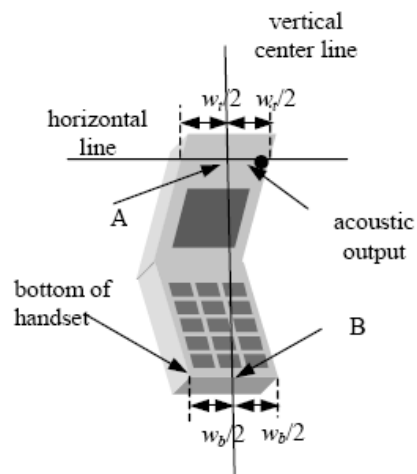
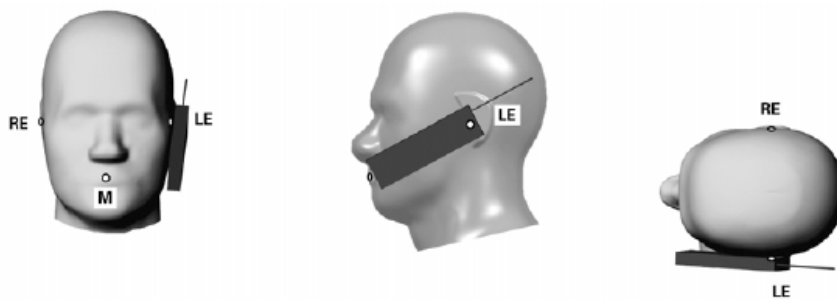


그림 C-6 MS 위치: “뺨”이나 “접촉” 위치들



MS 위치선정에 대한 기준면을 정의하는 오른쪽 귀, 왼쪽 귀 그리고 입(M)에 대한 기준 점들을 나타낸다.

C.5 EUT 고정 장치에 대한 정의

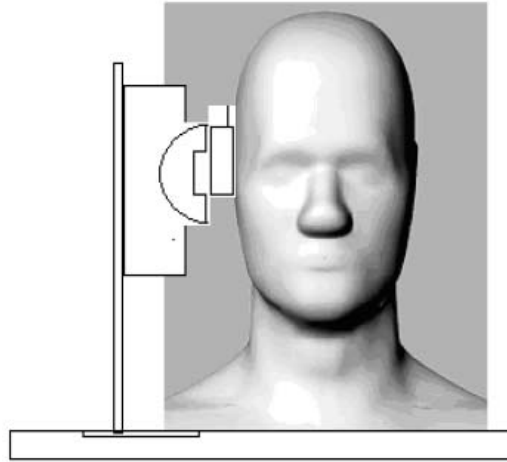
SAM 두부팬텀에 EUT를 위치시키기 위해서는 RF특성에 최소한의 영향을 주는 물질로 만든 고정대를 사용해야 한다. 이 같은 고정대는 그림 C-7과 같이 만들 수 있다.

그림에 있는 고정대는 발포된 폴리스티렌(상표는 스티로폼)과 낮은 유전율의 플라스틱(상표는 파이버그라스)으로 만든다. 고정대의 주요 역할은 RF에 대해 반사를 일으키지 않고 투과시키면서, EUT를 정확한 위치에 있게 하는 것이다. 발포된 폴리스티렌은 우수한 유전체 및 물리적인 성질을 가지고 있기 때문에 EUT에 가장 가까운 곳에 이것을 쓰면서, 최소한 양의 플라스틱을 사용한다.

두개의 기본적인 챔버 측정 기법인 원형스캔 및 원뿔스캔 시스템은 서로 다른 EUT 고정 장치가 필요하다. 그림에 나타난 것은 원뿔 스캔시스템 설치에 적당한 것이다 그러나 두 시스템의 개념을 설명하는데 도움이 된다.

EUT를 고정이나 지지를 위해 얇은 플라스틱“짐 포장용”테이프를 사용하는 방법처럼 교체 방법을 사용할 수 있다. 다시 한번 고정대의 기준을 얘기하면, 단지 기준은 두 가지로 1) RF에 투명하거나 낮은 반사특성 그리고 2)EUT를 SAM두부 팬텀의 정확한 위치에 놓이게 하는 것이다.

그림 C-7 EUT 고정 장치 ,개별 축 예



¹⁰ 모의 손을 이용한 연구는 진행 중이며 향후 더 좋은 고정 장치를 포함할 수 있을 것이다.

부록D 전력 측정 시 고려할 사항

D.1 전력 측정 장비

이 실험에 필요한 전력 측정을 하기 위해서는, 측정들에 사용되는 시험 장비에 대해 주의 깊게 고려해야 할 것이 많다. 전력측정에 사용되는 권고된 장비는 스펙트럼 분석기이다. 왜냐하면 다른 통신 신호들을 직접 측정하는 데 필요한 여러 파라미터들을 직접 제어할 수 있기 때문이다. 최근 스펙트럼분석기는 상대적으로 낮은 측정 불확실성을 가지고 필요한 측정을 할 수 있다. 그러나 오래된 장비는 전체 측정 불확실성을 만족하는 오차 허용 내에서 측정을 수행하지 못할 수도 있다. 충분한 선형성과 안정도를 갖춘 장비는 분석기로 인한 총 불확실성을 줄이기 위해 전체 교체부품 동안 다른 더 정확한 장비나 전력미터기로부터 이전된 표준을 사용할 수 있다.

통신 시험기/기지국 모의장치에 장착된 수신기와 같은 다른 수

신기가 각각의 통신 기술에 대해 필요한 민감도와 파형 조건을 만족한다면, 수신 전력을 측정하는 데 사용할 수 있다. 방사 시험에 의해 경로 손실이 증가하면 현재 이용할 수 있는 시험기에 이것을 적용하기는 어려울 수 있다.

전력미터기들은 전력센서의 광대역 특성 때문에 이 시험을 위해서는 추천하지 않는다. 왜냐하면 광대역 특성 때문에 순방향 채널 전력으로부터 역방향 전력을 분리하는 것이 어렵기 때문이다. 그러나 적절한 센서 응답시간과 필터링을 갖고 있다면, 수용 가능한 결과를 낼 수 있다. 광대역 센서에 대한 특별히 자세한 것은 다음절을 참고하라.

D.2 일반적인 측정 조건

이 절에는 모든 기법과 전력 측정기술에 대한 일반적인 요구조건과 권고사항을 열거한다. 주요한 목적은 주어진 장비에서 기대되는 불확실성내에서 균일한 총 방사 전력측정 할 수 있다는 것을 보장하는 것이다. 이 부록의 나머지 부분은 개별적인 기술에 대한 특정 요구조건을 담고 있다. 나머지는 필요한 측정들을 하기 위해 스펙트럼 분석기를 사용한다고 가정한다. 그러나 다른 수신기 기술도 같은 결과를 얻을 수 있음을 보이면서 사용할 수 있다. 다른 주의 사항이 없다면, 첨두값 검출기(peak detector)는 스펙트럼 분석기로 가정한다.

모든 RF측정처럼, 최소잡음 전력(noise floor)이나 측정기의 압축도에 대해 주의를 해야 한다. 일반적인 ERP패턴 측정을 위해 예상되는 신호의 넓은 다이내믹 범위(측정 가능한 범위) 때문에 주의를 기울이는 것이 쉽지 않다. 무선통신에서 펄스특성은 전치증폭기와 수신기 전단과 같은 부품에서 특별한 특성을 필요로 한다. 이들은 CW신호에 대해서는 좋은 특성을 보일 수 있지만 펄스신호에 대해서는 왜곡과 하모닉을 유발시킨다. 모든 부품에 대해 제조업체의 보고서는 예상되는 성능을 얻을 수 있음을 보장하

는 내용을 담고 있어야 한다.

패턴을 위해 수신된 피크 신호는 최저잡음전력 위로 적어도 40 dB이상이어야 한다는 것을 권고한다. 다이폴에 대해서는 이 수신 신호는 TRP에 대해 대략 0.2 dB 정도 그리고 최고 EIRP 위치에 서는 단지 0.1 dB이하의 잡음영향을 줄 수 있다. 경로 손실이 신호값의 한계를 벗어날 만큼의 영향을 주는 경우는 적절한 전치 증폭기를 사용할 수 있다. (필요한 드리프트나 선형 항을 불확실성 예산표에 넣는다), 또는 최저잡음전력에 다가감에 따라 점점 커지는 불확실성을 반영해야 하기 때문에 불확실성 예산값이 증가해야만 한다. 패턴의 침두신호는 최저잡음전력의 최고값의 20dB(1.1dB다이폴 TRP에러)보다 작게 허용되는 경우는 없다. (즉, 총 사용가능한 범위는 20 dB보다 커야 한다.) 왜냐하면 비교하기 위해 해상도에 관한 손실은 EIRP패턴 유용성을 감소시킬 수 있기 때문이다.

실제로 적절한 스펙트럼 표시와 밴드폭 필터를 갖고 있는 최신 스펙트럼 분석기들은 수신기 동조를 위해 주파수를 변화시킬 수 있는 반면에, 기존 스펙트럼 분석기는 수신기의 아날로그-디지털 변환기(ADC)의 출력 비트에 바로 연결된 스펙트럼 표시기로 이루어져 있다. 이처럼 측정값은 분석기의 화면의 눈금을 읽을 때 기기의 사양에 따라 정확해진다. 특히, 소프트웨어 자동조작을 사용할 때 점 위아래는 불분명한 압축과/또는 클리핑(clipping) 효과의 영향을 받기 쉽다. 이런 제한 때문에, 기준크기와 분석기의 감쇄는 패턴시험동안 수신된 최대 신호 크기가 눈금 안에 있도록 조정해야 한다. 패턴에서 예기치 않게 갑자기 커지는 피크 신호가 잘리는 것을 예방하기 위해 신호의 최대치는 화면위에서 최소한 5dB아래에 위치하도록 권고한다. 동조시키는 수신기 형태에는 예상되는 신호의 최대가 수신기를 과동작시키지 않도록 설정을 조정해야 한다. 신호가 화면경계를 벗어날 때, 소프트웨어 자동조작으로 기록된 스펙트럼 분석기의 데이터를 읽는 것이 유효한지

는 제조업체 보고서를 참고하라.

통신 신호의 변조 특성으로 인해, 특정 정지시간은 측정 반복성을 보장하기 위해 필요하다. 스펙트럼 분석기나 수신기는 각 기술에 대해 요구되는 측정 해상도를 얻기 위해 필요한 특정 데이터 수와 스위프(sweep)시간을 지원할 수 있어야 한다. 데이터를 처리하기 위해 사용된 소프트웨어와 펌웨어(하드웨어를 조정하는 소프트웨어)는 필요한 결과를 얻기 위해 적절한 디지털 필터를 적용해야 한다. 위의 요구조건을 만족하기 위해서 추가한 외부감쇄기나 증폭기는 교체부품 측정에 포함시키거나 별개의 항으로 범위를 교정하는 데 추가 시켜야 한다는 것에 주의하라. 그리고 총 측정 불확실성에 적절한 조정을 해야 한다.

교체 수신기와 전력미터기에 대해, 이것들은 등가 밴드폭과 필터설정 또는 측정 여기에 적합한 것과 동일한 결과를 얻기 위한 기능을 갖추어야 한다. 검침기의 광대역 특성과 연관된 문제 때문에 방사신호를 직접 측정하기 위해 광대역 전력미터기를 사용하는 것을 지양한다. 전력미터기를 사용하기 위해서는, 순방향 전력이 측정 안테나와 결합하여 측정 전력에 심각한 영향을 주지 않음을 보일 필요가 있다. 그리고 적절하게 불확실성 예산표에 고려해야 한다. 유감스럽게도 이 결합 크기는 전력미터 센서 특성에 많이 좌우된다. “RMS” 다이오드 검출기는 첨두 전압값을 기록하는 반면에, 실제 RMS 센서(즉 저항성 전력센서)는 전력의 합으로 순방향과 역방향링크 신호의 합을 기록한다. 채널간의 20 dB 격리도는 실제 RMS센서에 대한 0.1 dB에러 미만을 얻는데 충분한 반면에, 첨두 센서는 같은 효과를 얻기 위해서 45 dB의 채널 격리도가 필요하다. 센서의 응답시간도 중요한 파라미터이기 때문에 무선 전력측정을 위해 특별히 설계되거나 인증되지 않은 전력미터는 금지한다.

D.3 TDMA TIA/EIA/IS-136-A

TIA/EIA-136-270-A(참고 되지 않은 보고서)는 평균버스트(burst) 전력을 적어도 140개의 연속적인 기호 숫자6 과 162사이에서 측정해야 하는 것을 설명하였다. TIA/EIA-136 는 6개 시간슬롯으로 나누어진 변하는 포락선변조($\pi/4$ -DQPSK)를 사용한다. 6개중 2개는 통화 중 동작한다(예 1+4, 2+5, 3+6).각 시간 슬롯은 162개의 기호를 갖고 6.67 ms동안 동작한다. 캐리어는 동작하지 않은 시간 슬롯에 대해서는 꺼진다 (13.33 ms). 동작하는 시간 슬롯 중 처음 3개 심볼은 시간보호하기 위해 사용된다. 이동국의 송신 캐리어는 꺼져 있어야 한다. 심볼 4에서 6까지는 이동국이 충분한 송신전력에 이르기 까지 전력이 올라갈 수 있도록 하는 데 사용된다. 단축된 슬롯형식을 사용할 때, 마지막 22심볼은 시간보호에 사용되며 송신캐리어는 꺼져있어야 한다. 정상적인 슬롯형식을 사용할 때는 마지막 22심볼은 데이터를 포함하고 캐리어는 켜진다. 더 자세한 것은 TIA/EIA-136-121-A의 2절을 참고하라.

안테나 성능을 특정 짓기 위해, 요구하는 최소 전력 측정은 단일 유효 TDMA버스트(burst)에 대해 중간85%의 선형 평균값으로 주어진다. 대안으로 불확실성 성분의 임의성을 줄이기 위해 하나의 버스트보다 많은 것에 대한 평균을 사용할 수 있다. 유효 버스트는 $6.67 \text{ ms} \pm 10\%$ 를 갖는 것으로 정의한다. 해상도를 갖는 비디오 트리거와 300 kHz비디오밴드폭 그리고 펄스의 중심의 85%에 걸쳐 최소 300개의 샘플이 있도록 스위프 시간을 조정하여, 스펙트럼 분석기는 비디오 트리거를 사용하여 영스팬으로 맞추어야 한다. 마지막 요구조건은 전체 펄스에 걸쳐 유효한 평균을 얻기 위한 충분한 해상도를 보장하는 것이다. 일반적인 TDMA 펄스는 시간해상도가 너무 낮으면 올바르게 검출할 수 없는 깊은 영점(null)을 가지고 있다. 7 ms로 설정하면 대부분의 스펙트럼 분석기에서 이 조건을 만족하는 데 충분하다. 트리거 크기는 스푸리

어스 트리거(대략 잡음보다 5-10 dB 큰)를 발생하지 않고, 가능하면 최저잡음전력에 가깝게 설정해야 한다.

TDMA 펄스에 있는 깊은 영점 때문에, 부록 D.2에 있는 필요한 최소한의 다이내믹 범위는 10 dB 증가되고 최저잡음전력보다 트리거를 기준으로 한다. 이것은 트리거 크기까지 미치는 영점 때문에 발생하는 스퓨리어스 트리거의 수를 줄이기 위함이다. 이 조건이 만족하면, 몇 차례의 재시험 후에도 위의 폭 기준에 만족할 수 없는 펄스들은 중심의 85% 평균값보다는 최대 신호크기를 사용해도 된다.

그림 D-1 조건에 맞는 해상도를 갖는 TDMA 전력 포락선 예

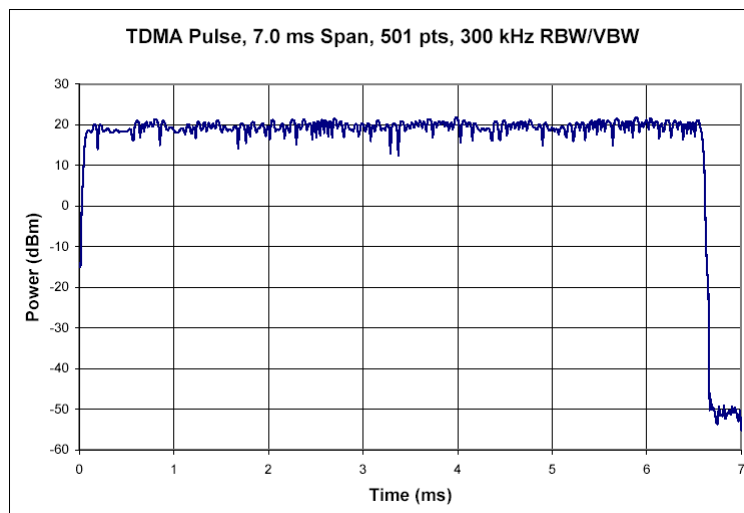


그림 D-2 조건에 맞지 않는 해상도를 갖는 TDMA 전력 포락선
예

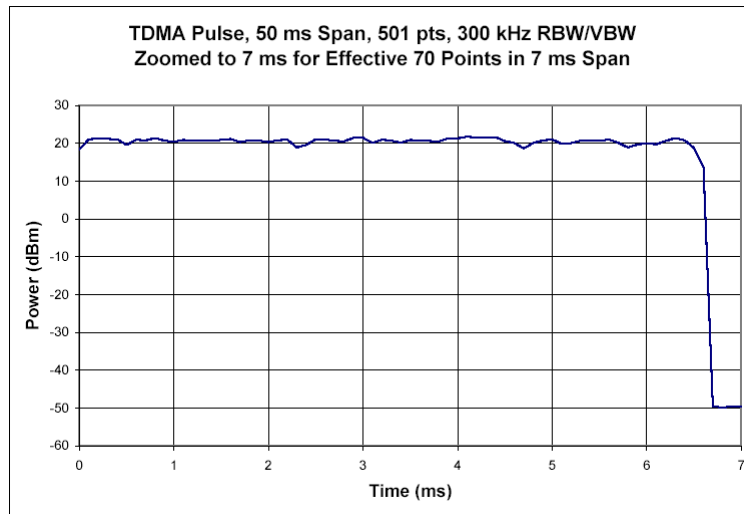
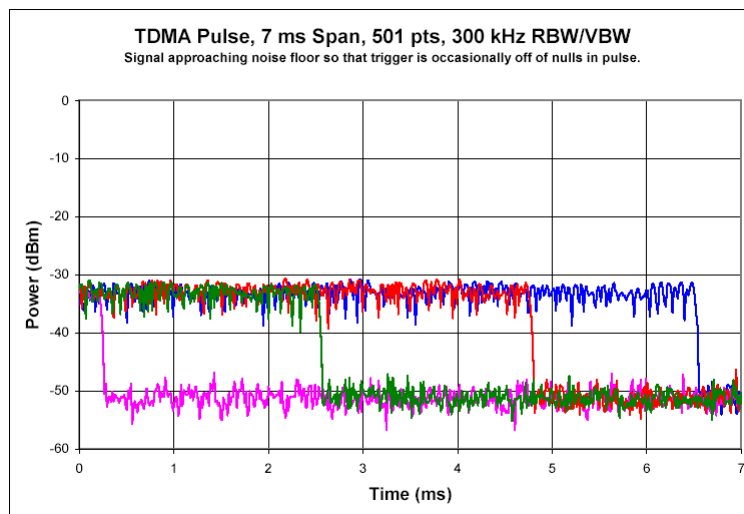


그림 D-3 트리거 크기와 거의 같은 TDMA 펄스 예(본문참조)



마찬가지로 분석기의 트리거를 발생시킬 수 없는 트리거 크기보다 작은 신호크기 대신에 트리거 크기값을 교체할 수 있다. 이들

값은 패턴의 깊은 영점에 있고 TRP에 주는 영향이 크기 않기 때문에 이것을 허용한다.

TDMA 펄스를 받아들이 수 있지는 여부에 대한 예 뿐 만 아니라 신호가 트리거 크기까지 미칠 때 대표적인 성질을 위한 예는 다음 그림을 참고하라. 잡음대 근처에서 증가된 잡음의 크기의 영향은 TDMA 펄스에 있는 고유 잡음과 구분하기 어렵다.

D.4 GSM 3GPP TS 51.010

GSM은 8개의 시간슬롯으로 된 일정한 포락선변조(GMSK)를 사용한다. GSM 펄스 처리는 TDMA와 거의 동일하다. 안테나 성능을 특정짓기 위해, 요구하는 최소 전력 측정은 단일 유효 GSM 버스트(burst)에 대해 중간 85%의 선형 평균에 의해 주어진다. 대안으로 불확실성 성분의 임의성을 줄이기 위해 하나의 버스트보다 많은 것에 대한 평균을 사용할 수 있다.

유효 버스트는 $0.577 \text{ ms} \pm 10\%$ 를 갖는 것으로 정의한다. 해상도를 갖는 비디오 트리거와 300 kHz 비디오 밴드폭 그리고 펄스의 중심의 85%에 걸쳐 최소 300개의 샘플이 있도록 스위프 시간을 조정하여, 스펙트럼 분석기는 비디오 트리거를 사용하여 영스팬으로 맞추어야 한다.

마지막 요구조건은 전체 펄스에 걸쳐 유효한 평균을 얻기 위한 충분한 해상도를 보장하는 것이다. 0.65 ms로 설정하면 대부분의 스펙트럼 분석기에서 이 조건을 대충 만족하는 데 충분하다. 트리거크기는 스퓨리어스 트리거(대략 잡음보다 5-10 dB큰)를 발생하지 않고, 가능하면 잡음대에 가깝게 설정해야 한다.

GSM 펄스크기가 트리거 크기까지 커지면, 스퓨리어스 트리거가 발생할 수 있다. 이 때문에, 부록 D.2에 있는 필요한 최소한의 다이내믹 범위는 잡음대보다 트리거를 기준으로 한다. 이것은 트리거 크기까지 미치는 영점 때문에 발생하는 스퓨리어스 트리거의 수를 줄이기 위함이다. 이 조건이 만족하면, 몇 차례의 재시험

후에도 위의 폭 기준에 만족할 수 없는 펄스들은 중심의 85% 평균보다는 최대 신호크기를 사용해도 된다. 마찬가지로 분석기의 트리거를 발생시킬 수 없는 트리거 크기보다 작은 신호크기 대신에 트리거 크기값으로 대체할 수 있다. 이들 값은 패턴의 깊은 영점에 있고 TRP에 주는 영향이 크기 않기 때문에 이것을 허용한다.

GSM펄스를 받아들이 수 있지는 여부에 대한 예 뿐 만 아니라 신호가 트리거 크기까지 미칠 때 대표적인 성질을 위한 예는 다음 그림을 참고하라. 잡음대 근처에서 증가된 잡음의 크기의 영향은 TDMA 펄스에 있는 고유 잡음과 구분하기 어렵다. 신호가 잡음대에 가까워지면 예상처럼 잡음크기가 증가한다는 점에 유의한다. 그러나 침투 전력과는 반대로 평균 펄스전력 사용은 잡음으로 인한 결과의 불확실성을 평균 점의 수에 대한 제곱근까지 줄인다. 이러한 현상은 잡음이 랜덤 에러 효과가 있고 결과적으로 잡음대를 낮추는 효과를 주면서 평균과정이 불확실성을 줄이기 때문이다.

그림 D-4 조건에 맞는 해상도를 갖는 GSM전력 포락선 예

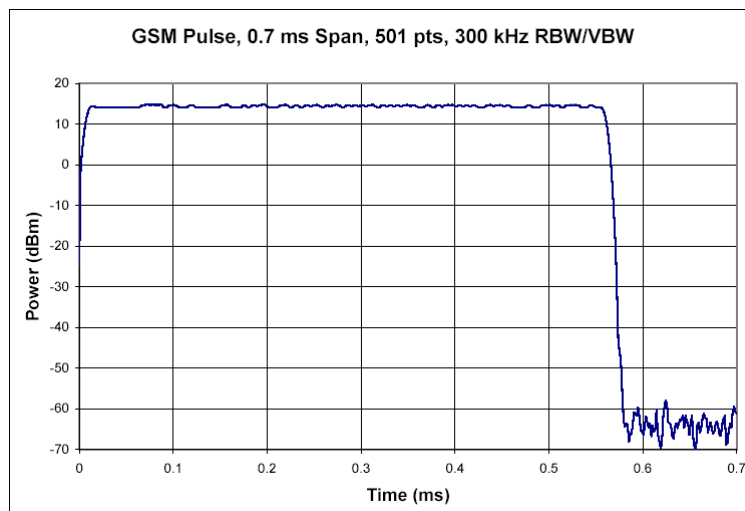


그림 D-5 조건에 맞지 않는 해상도를 갖는 GSM전력 포락선 예

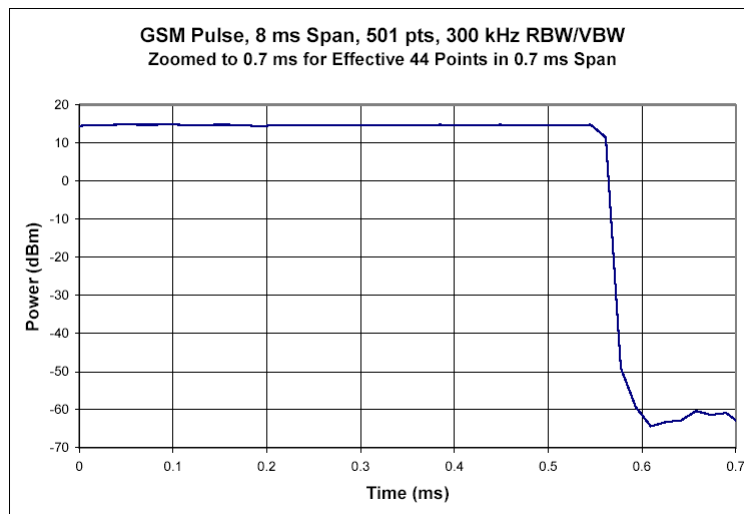
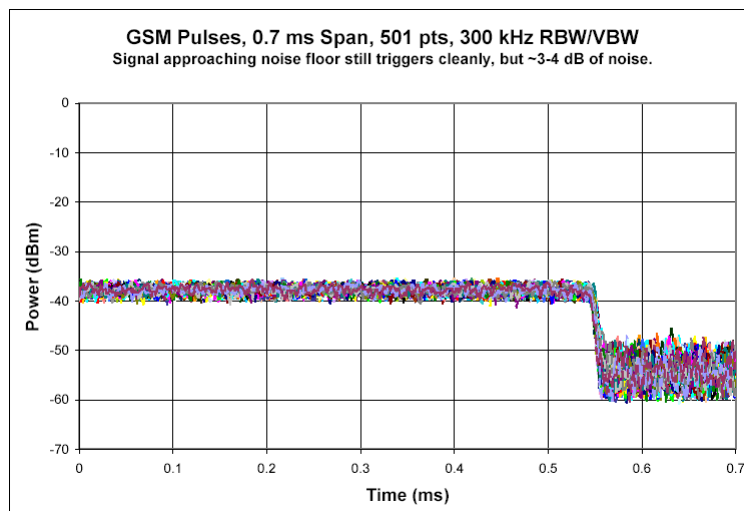


그림 D-6 신호가 트리거 크기까지 접근할 때 잡음에서 증가를 보이는 GSM 펄스 예



D.5 Analog TIA/EIA-690

AMPS는 일정한 포락선 변조(FSK)를 사용한다. 안테나 성능을 특징짓기 위해서는, 최소한 50 ms 정지시간동안 포락선의 평균전력을 측정해야 한다. 스펙트럼 분석기는 해상도를 갖는 프리런(free-run) 모드에서 영스팬, 비디오 밴드폭이 300 kHz 그리고 스윙프 시간을 적어도 50 ms로 설정해야 한다. 수신신호는 유효한 결과를 기록하기 위해 전체 측정점 구간에서 안정되어 있어야 한다. 안정된 기록은 중간값의 ± 0.5 dB내에서 모든 점들로 정의한다.

그림 D-7 아날로그 전력 포락선 예

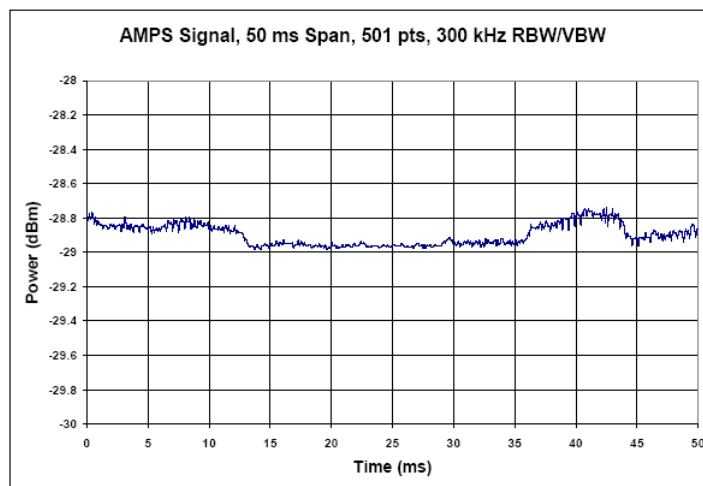
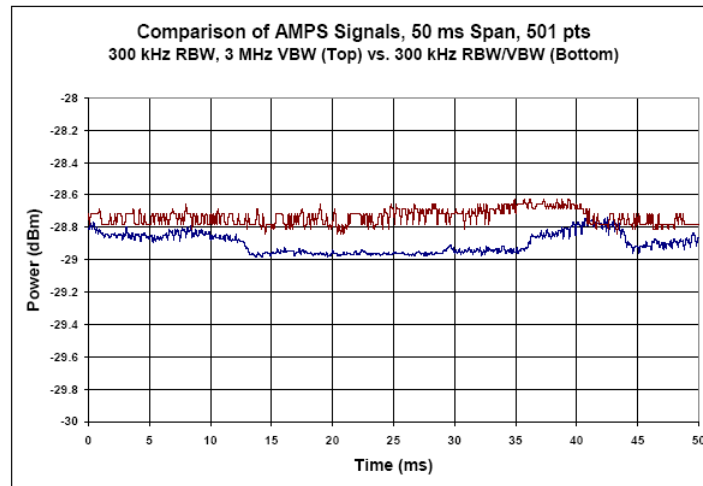


그림 D-8 잘못된 밴드폭 설정으로 인한 아날로그 전력 포락선 예



D.6 CDMA TIA/EIA-98-D

CDMA는 통신을 위해 디지털 확산 스펙트럼 기술을 이용한다. 기지국은 이진수의 “올림” 또는 “내림”신호를 보냄으로써, 원하는 범위 내에서 수신 전력을 유지해야 하기 위해 역동적으로 전력 제어를 수행해야 한다. 최대전력 출력은 계속적으로 “올림”비트 신호를 보냄으로써 설정할 수 있다. 수 밀리초 후에 장비는 최대 전력에 도달할 것이다.

확산 스펙트럼범위를 다 포함하기 위해서는 광대역의 전치 수신단을 사용할 필요가 있다. 그러나 디지털 포락선은 침두값 검출기가 높은 값을 읽도록 한다. 따라서 좁은 비디오 밴드폭 또는 진짜 RMS 전력을 읽기 위한 비디오 평균을 사용할 필요가 있다.

안테나 성능을 특징짓기 위해서는, 최소한 50 ms 정지시간동안 포락선의 평균전력을 측정해야 한다. 스펙트럼 분석기는 해상도밴드폭 3 MHz를 갖는 프리런(free-run) 모드에서 영스팬, 비디오 밴드폭이 1 kHz 그리고 스위프 시간을 적어도 100 ms로 설정해

야 한다. 수신신호는 유효한 결과를 기록하기 위해 전체 측정점 구간에서 안정되어 있어야 한다. 안정된 기록은 중간값의 ± 0.5 dB내에서 모든 점들로 정의한다.

그림 D-9 CDMA 전력 포락선 예

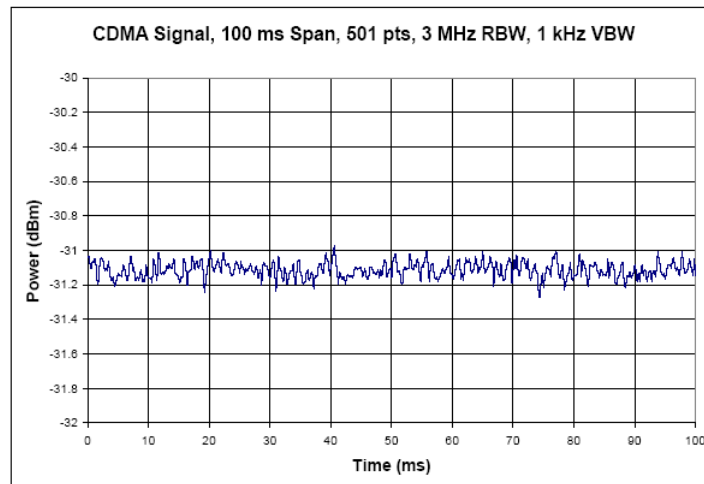
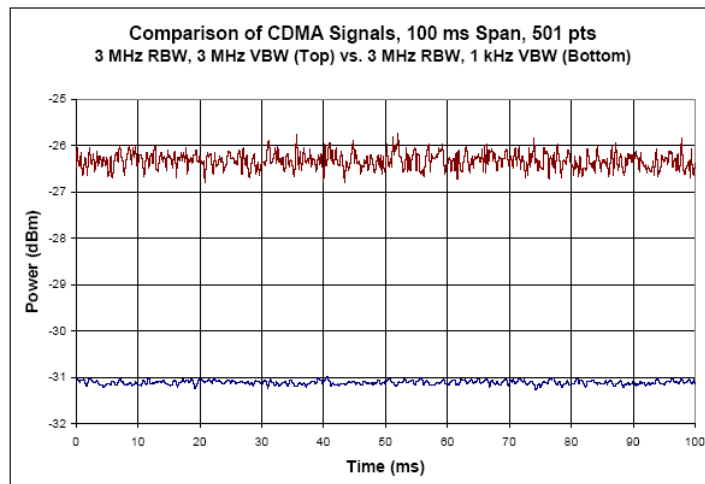


그림 D-10 잘못된 밴드폭 설정으로 인한 CDMA 전력 포락선 예

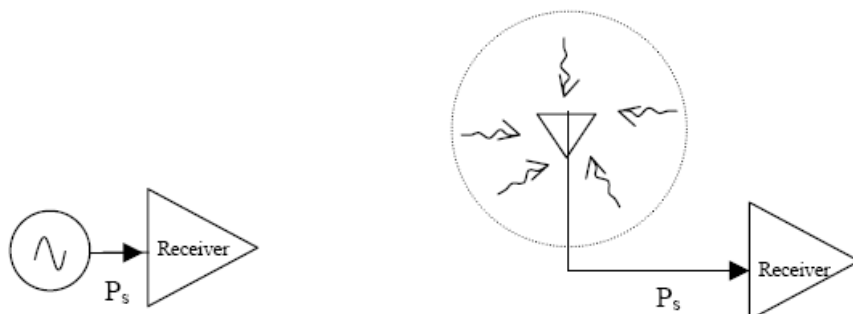


부록E총 등방성 민감도와총 방사 전력 유도 (참고자료)

이 부록에서는 유효등방성 방사전력 데이터 또는 수신민감도의 완전 구좌표 패턴을 하나의 성능지수로 나타내는 방법과 이 과정의 의미를 나타내는 몇 예에 대해 설명한다. 기본 원리는 완전(효율이 100%)안테나를 가지고 EUT와 송수신기의 성능을 비교하는 것이다.

E.1 총 등방성 민감도(TIS: Total Isotropic Sensitivity)

그림 E-1 수행된 민감도 측정(왼쪽)과 TIS(오른쪽)



정의

이 절은 Jake의 책인 마이크로파 이동통신¹¹에서 설명한 것과 같이 Yeh가 이동환경에서 평균적으로 수신된 전력을 유도한 수식을 이용한다. 유도된 방정식 중에는 명확한 수식을 위해 여기서 다시 전개하지만, 독자들은 유도과정의 완전한 전개를 위해서는 위의 문헌을 참고하라.

직교성분인 E_θ 와 E_ϕ 양쪽에 동일한 평균 입사 전력¹²을 제공하고, 각 편파의 입사각도(모든 θ , ϕ 에 대해)에서 균일한 분포를 갖는 가상적인 산란 환경을 가정한다.

양 편파에 대해 평균 입사 전력을 동시에 조정(다른 쪽 편파와 함께 유지동안)하여 위의 환경¹³하에 놓인 EUT 안테나에 수신된

평균전력이 수신기가 민감도(예 특정 비트에러율) 문턱값에서 동작되도록 하는 전력과 동일하다고 가정한다. EUT를 E_θ 와 E_ϕ 각각의 선형 편파와 모든 방향에서 같은 이득을 갖는 이상적인 등방성 안테나로 바꾼다면, 위와 같은 산란 환경에 놓인 이상적인 등방성 안테나에서 가용할 수 있는 평균전력을 와트 단위로 표현한 것을 총 등방성 민감도¹⁴(TIS: Total Isotropic Sensitivity)로 정의한다.

11 W.C. Jakes, Editor, *Microwave Mobile Communications*, John Wiley & Sons, 1974, Chapter 3.

12 이 용어는 T. Taga의 다음 논문에서 차용했다. "Analysis for Mean Effective Gain of Mobile Antenna in Land Mobile Radio Environments," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 39, No. 2, May, 1990.

13 “환경에 놓인”이라는 것은 입사전력을 평균 취하기 위해 EUT를 임의적으로 환경(안정되어 있다고 가정한다)안으로 이동시키는 것을 의미한다. 이절에서 “놓인”은 이런 가상의 이동절차에 대한 약어로 사용한다.

유효등방성 민감도, EIS(Effective Isotropic Sensitivities),를 다음과 같이 정의한다:

$EIS_\theta(\theta, \phi) = (\theta, \phi)$ 방향으로 입사된 세타 편파의 평면파(이 평면파가 EUT에 입사될 때는, 평면파는 민감도 성능의 문턱값을 발생한다)에 의해 발생하는 세타 편파된 이상적인 등방성 안테나의 가용전력

$EIS_\phi(\theta, \phi) = (\theta, \phi)$ 방향으로 입사된 파이 편파의 평면파(이 평면파가 EUT에 입사될 때는, 평면파는 민감도 성능의 문턱값을 발생한다)에 의해 발생하는 파이 편파된 이상적인 등방성 안테나에 발생된 가용전력

EIS는 민감도를 얻기 위해 각각의 각도와 편파에서 필요한 전력을 기록한 것으로, EUT 측정부분 동안에 챔버 안에서 실제 측정된 값이다. 단위는 와트이다. 이것은 송신안테나에 대한 EIRP를 얻기 위해 사용한 챔버의 같은 경로 손실 인자(송신주파수 대신에 수신주파수에서 측정된 것과 같은)를 포함시켜 결정된다.

EIS 용어는 이상적인 등방성 단일 편파안테나에 대해 정의하지만 TIS용어는 이상적인 등방성 이중 편파안테나에 대해 정의한 것에 주목한다. EIRP에 대해 경로손실을 특성 짓는 것과 부합되는 챔버 안의 수신측정을 위해서, 경로손실을 특성 짓는 작업(즉 교체 부분)을 하는 것은 편리하다. 다시 말하면, 송신시험에 대한 EIRP패턴을 얻기 위해 교체 부분에서 발생된 경로손실 항들은, 여기서 정의(단일 편파 등방성기준)한 수신시험에 대한 EIS 패턴을 얻는 위해 적절한 수신 주파수에서 기록한 경로 손실과 같은 형태이다.

실제 EUT와 전파는 이중 편파이기 때문에, TIS는 이중편파 등방성 비교를 기초로 한다. 이런 분명한 차이를 조정하기 위해 적분 핵(kernel)에 대한 적절한 선택을 해야 한다.

일반적으로 이것은 다음과 같다.

식 E-1

$$EIS_x(\theta, \phi) = \frac{P_s}{G_{x,EUT}(\theta, \phi)}$$

여기서, P_s 는 EUT수신기의 민감도이고 $G_{x,EUT}(\theta, \phi)$ 는 (θ, ϕ) 방향에서 EUT 등방성(x편파) 안테나(이 경우, 부정합이나 도체손실을 포함한다.)의 상대 이득이다.

수신전력 계산

평균 수신전력에 관한 Yeh의 계산에 따르면, 오른손 방향 좌표계 (θ, ϕ, r) 를 이용하고 직교 방향벡터는 θ 와 ϕ 와 연관된다. 일반적으로 산란 환경에서 안테나에 수신된 평균전력은 Jakes책 3.1-22 방정식과 같다. 이것은 EUT의 안테나/수신시스템과 어느 편파와도 동일한 응답을 갖는 효율 100%완벽한 안테나와 비교하기 때문에 민감한 정의이다.

식 E-1

$$P_{rec} = \oint [P_1 G_\theta(\Omega) P_\theta(\Omega) + P_2 G_\phi(\Omega) P_\phi(\Omega)] d\Omega$$

여기서 Ω 는 (θ, ϕ) 로 주어진 구 표면의 좌표점이고 $d\Omega$ 는 입체각의 미소성분으로 $\sin(\theta)d\theta d\phi$ 이다. (이것은 등가적으로 다음과 같이 쓸 수 있다.)

식 E-2

$$P_{rec} = \oint [P_1 G_\theta(\Omega) P_\theta(\Omega) + P_2 G_\phi(\Omega) P_\phi(\Omega)] \sin(\theta) d\theta d\phi$$

$G_\theta(\theta, \phi)$ 와 $G_\phi(\theta, \phi)$ 는 θ 와 ϕ 편파에 한 각각의 전력 이득 패턴이고, $P_\theta(\theta, \phi)$ 와 $P_\phi(\theta, \phi)$ 는 이 환경 하에서 θ 와 ϕ 각각의 편파를 갖는 입사되는 평면파의 각도의 밀도 함수이다. 그리고 P_1 와 P_2 는 산란 환경 하에서 θ 와 ϕ 로 각각 편파된 이상적인 등방성 안테나에 수신되는 평균 전력이다.

TIS정의에서 가정한 특정 산란 환경 하에서 $P_\theta(\theta, \phi)$ 와 $P_\phi(\theta, \phi)$ 는 $1/4$ 와 같은 상수이고, P_1 은 P_2 와 같다. 특별히 P_1 와 P_2 는 가상의 산란 환경 하에서 특정한 민감도의 문턱값에 이르는 EUT조건을 만드는 특정값과 같거나 $P_1 = P_2 = P_{TIS}$ 이다. 이 조건하에 있는 EUT의 경우에 대해서, 수신기가 같은 산란 환경에

놓여있을 때 안테나에 의해 수신기로 전달되는 평균 전력을 수신 민감도 P_s 로 정의한다. 이것은 방정식 E-2와 같다.

식 E-3

$$P_s = \frac{P_{TIS}}{4\pi} \int [G_{\theta,EUT}(\theta, \phi) + G_{\phi,EUT}(\theta, \phi)] \sin(\theta) d\theta d\phi$$

산란 환경 하에 놓여 있고 $G_{x,EUT}(\theta, \phi)$ 의 안테나 이득 패턴을 갖고 있는 EUT에 대한 방정식이다.

TIS 정의에서 언급한 이상적인 이중편파를 갖는 등방성 안테나는 모든 방향에서의 총 전력 이득이 1(즉 0 dBi)이다. 그러므로 모든 방향에서 편파 성분에 대한 각각의 이득은 1/2(즉 -3 dBi), $G_{\theta}(\theta, \phi) = G_{\phi}(\theta, \phi) = 1/2$ 이다. 따라서 설명한 환경 하에서 이중편파 등방성 안테나에 대한 평균 수신전력 TIS를 대체 한 것은 다음과 같다.

식 E-4

$$TIS = \int \left[P_{TIS} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4\pi} + P_{TIS} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4\pi} \right] \sin(\theta) d\theta d\phi = \frac{P_{TIS}}{4\pi} \int \sin(\theta) d\theta d\phi = P_{TIS}$$

EIS의 정의를 참조하면, $EIS_{\theta}(\theta, \phi)$ 의 정의를 예를 들면, 식 E.1-1도 증명할 수 있다. $EIS_{\theta}(\theta, \phi)$ 측정은 특정 방향(θ, ϕ)으로부터 EUT로 입사되는 단일 θ 편파 평면파를 갖는 평균수신 전력을 말한다. Taga의해 증명된 것처럼 이 특별한 경우는 다음과 같이 설정함으로써 식E-2를 사용하여 처리할 수 있다

$$P_{\theta}(\theta, \phi) = \frac{[\delta(\theta - \theta_s)\delta(\phi - \phi_s)]}{\sin(\theta)} \quad \text{그리고}$$

$$P_{\phi}(\theta, \phi) = 0$$

여기서 $\delta(\theta - \theta_s)$ 는 디락 델타 함수이고 (θ_s, ϕ_s) 는 EIS를 계산하기 위한 특정방향을 나타낸 것이다. EIS경우에 대해 (그리고 이 경우 수신전력은 민감도 전력, P_s ,으로 정의한다) 식 E-2를 바꾸면 다음 식을 얻는다.

$$P_s = \oint \left[P_{1,EIS} G_{\theta,EUT}(\theta, \phi) \frac{[\delta(\theta - \theta_s)\delta(\phi - \phi_s)]}{\sin(\theta)} + 0 \right] \sin(\theta) d\theta d\phi = P_{1,EIS} G_{\theta,EUT}(\theta_s, \phi_s)$$

여기서, $P_{1,EIS}$ 는 각도 (θ_s, ϕ_s) 에서 EUT에 대한 민감도 문턱값을 만드는 평균 입사전력상수 이다.

$EIS_{\theta}(\theta, \phi)$ 정의에서 나온 θ 편파 이상적인 등방성 안테나에 대해, 이 이득은 $G_{\theta}(\theta, \phi) = 1$ (즉, 0 dBi) 이고 $G_{\phi}(\theta, \phi) = 0$ 이다. 마찬가지로 이것을 식 E-2에 대입하면 다음을 넣는다.

$$EIS_{\theta}(\theta, \phi) = \oint \left[P_{1,EIS} \cdot 1 \cdot \frac{[\delta(\theta - \theta_s)\delta(\phi - \phi_s)]}{\sin(\theta)} + 0 \right] \sin(\theta) d\theta d\phi = P_{1,EIS}$$

이들 두식을 조합하면 다음 식을 얻는다.

$$P_s = EIS_{\theta}(\theta_s, \phi_s) G_{\theta,EUT}(\theta_s, \phi_s)$$

특정 계산 점 (θ_s, ϕ_s) 에서는 위와 같고 또는 더 일반적으로 어떤 각도에 대해서는 아래와 같다.

$$P_s = EIS_{\theta}(\theta, \phi) G_{\theta,EUT}(\theta, \phi)$$

동일한 전개 방식은 $EIS_{\theta}(\theta, \phi)$ 에 대한 유사한 식을 만들고, 이

두 결과는 바로 식 E-1을 이끌어낸다.

그러므로 E-1을 다시 정리하면

$$G_{x,EUT}(\theta,\phi)=\frac{P_s}{EIS_x(\theta,\phi)}$$

식 E-3에 대입하면

$$P_s=\frac{P_{TIS}}{4\pi}\oint\left[\frac{P_s}{EIS_\theta(\theta,\phi)}+\frac{P_s}{EIS_\phi(\theta,\phi)}\right]\sin(\theta)d\theta d\phi$$

이것을 정리하면 다음을 얻는다.

$$P_{TIS}=\frac{4\pi}{\oint\left[\frac{1}{EIS_\theta(\theta,\phi)}+\frac{1}{EIS_\phi(\theta,\phi)}\right]\sin(\theta)d\theta d\phi}$$

식 E-4에 대입하면 아래 식을 얻을 수 있다.

식 E-5

$$TIS=\frac{4\pi}{\oint\left[\frac{1}{EIS_\theta(\theta,\phi)}+\frac{1}{EIS_\phi(\theta,\phi)}\right]\sin(\theta)d\theta d\phi}$$

특별한경우의결과

수신기,환경 그리고 안테나는 모두 같은 온도 예를 들면 290K라고 가정한다.

경우1: EUT는 100%효율을 갖고, 단일 편파인 이상적인 등방성

방사체를 사용한다. 예를 들면 EUT 안테나가 이상적이고 쉘타 편파인 안테나라고 가정하면, 정의에 의해, $EIS_{\theta}(\theta, \phi)$ 는 모든 각도에서 P_s ,이고 $EIS_{\phi}(\theta, \phi)$ 는 모든 각도에서 무한대이다. 그러면 식 E-5는 다음과 같다

$$TIS = \frac{4\pi}{\oint \left[\frac{1}{P_s} + \frac{1}{\infty} \right] \sin(\theta) d\theta d\phi} = \frac{4\pi}{\int \left[\frac{1}{P_s} + 0 \right] \sin(\theta) d\theta d\phi} = \frac{P_s 4\pi}{\oint \sin(\theta) d\theta d\phi} = P_s$$

다시 말하면, 100%효율을 갖고, 단일 편파인 이상적인 등방성 안테나를 갖는 EUT의 TIS는 정확히 민감도 전력 P_s 이다.

경우2: 100%효율을 갖고, 이중 편파인 이상적인 등방성 방사체를 사용한다: 그러면 $EIS_{\theta}(\theta, \phi)$ 는 모든 각도에서 $2 P_s$,이고 $EIS_{\phi}(\theta, \phi)$ 도 모든 각도에서 $2 P_s$ 이다.(EIS는 단일 편파 등방성에 대해 정의된다는 것과 이중편파 등방성 안테나는 대응되는 단일 편파 등방성 안테나의 이득에 반을 갖는다는 것을 기억하라) 그러면 식 E-5는 다음과 같이 된다.

$$TIS = \frac{4\pi}{\oint \left[\frac{1}{2P_s} + \frac{1}{2P_s} \right] \sin(\theta) d\theta d\phi} = \frac{P_s 4\pi}{\oint \sin(\theta) d\theta d\phi} = P_s$$

다시 100%효율과 이상적인 등방성 안테나를 갖는 EUT는 동작되는 수신기의 민감도 P_s 와 같은 TIS를 갖는다.

경우3: EUT는 50%효율이지만 이상적인 단일 편파 등방성 안테나를 사용한다. 그러면 $EIS_{\theta}(\theta, \phi)$ 는 모든 각도에서 $2P_s$ 이고 (

안테나는 3dB 감쇄기가 된다. 이것은 수신기 잡음지수를 3dB 떨어뜨려 , 같은 성능을 얻기 위해서는 2배의 전력이 필요하다.) 그리고 $EIS_{\phi}(\theta, \phi)$ 는 모든 각도에서 무한대이다. 그러면 식 E-5는 다음과 같다

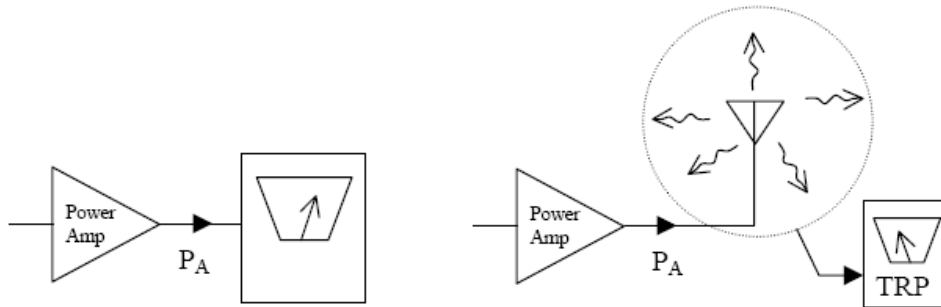
$$TIS = \frac{\int \left[\frac{1}{2P_s} + \frac{1}{\infty} \right] \sin(\theta) d\theta d\phi}{\int \left[\frac{1}{2P_s} + 0 \right] \sin(\theta) d\theta d\phi} = \frac{2P_s 4\pi}{\int \sin(\theta) d\theta d\phi} = 2P_s$$

따라서 50%효율을 갖는 EUT는 3dB 저하된 동작 민감도와 같은 TIS를 갖는다.(즉 2배 커진)

이것은 두 가지 일반적인 결론을 뒷받침한다. 첫째로, TIS에 대한 가장 낮은 한계는 (이룰 수 있는 가장 좋은 값) EUT의 수신기의 동작 민감도이다. 이런 TIS는 완전 정합되고 100%효율 안테나로 구현할 수 있다. 두 번째로, 실제 안테나의 TIS는 안테나 부정합/효율 손실에 저하된 수신기의 동작 민감도이다.

E. 2 총 방사 전력

그림 E-2 동작 전력 측정 (왼쪽) 과 TRP(오른쪽)



정의

P_A =동작 전력(정확히 50옴 부하의 가용 전력) 단위는 와트

TRP=총 방사전력, 안테나로 방사되는 실제 전력 단위는 와트

TRP는 방향이나 편파와 상관없이 안테나에서 방사되는 모든 전력의 합이다. 안테나가 완전 흡수체로 된 구로 둘러싸여 있다면, TRP는 이 구에 흡수되는 전력이 될 것이다. TRP는 다음과 같이 P_A 와 관계가 있다:

식 E-6

$$TRP = P_A \cdot L_m \cdot eff$$

여기서 L_m 은 부정합에 의한 손실이다. (50옴에 대한 정합)

eff= 안테나 방사효율

방사효율 eff 은 대부분의 안테나 참고서에서 안테나에 인가되는 전력 대 안테나에서 방사되는 전력의비로 정의하고 있다. 최대를 얻을 수 있는 TRP값은 쉽게 P_A 임을 알 수 있다. 그리고 이런 최대값은 정합되고 효율 100%인 안테나에서 얻을 수 있음을 알 수 있다.

총방사전력유도

주어진 안테나와 전원의 총방사전력(예로 Stutzman와 Thiele, 33쪽, 식 1-131)은

$$TRP = \oint U(\theta, \phi) d\Omega$$

여기서 $U(\theta, \phi)$ 는 각 각도에서 방사 밀도[Watts/steradian]이다.

이 적분을 전개하면,

$$TRP = \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{\phi=0}^{2\pi} U(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi$$

$\sin(\theta)$ 항은 입체각의 미소구간 $d\Omega$ 을 수학적으로 식을 풀 결과 결과임을 알 수 있다.

$$d\Omega = \sin(\theta) d\theta d\phi$$

유효 등방성 방사 전력인 EIRP는 다음과 같이 정의(Stutzman과 Thiele, 62쪽, 식1-226 과 식1-227)한다.

$$EiRP(\theta, \phi) = P_T G_T(\theta, \phi) = 4\pi U(\theta, \phi)$$

여기서, $P_T G_T$ 는 안테나에 전달되는 전력과 안테나 이득의 곱이다. (참고서에서 인용한 식은 실제로 최대 이득의 각에서 최고 EIRP인 특별한 경우지만 참고서에서 사용한 증명으로 각도에 대한 더 일반화된 EIRP에 대한 식을 만들 수 있다.)

Stutzman & Thiele, *Antenna Theory and Design*, First Edition, John Wiley & Sons, 1981, 38쪽 and 49쪽.

그러면 다음 식을 얻는다.

$$U(\theta, \phi) = \frac{EiRP(\theta, \phi)}{4\pi}$$

그리고 TRP의 적분은 다음과 같다.

식 E-7

$$TRP = \frac{1}{4\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{\phi=0}^{2\pi} EiRP(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi$$

따라서 EUT의 EIRP에 대한 완전한 구좌표 패턴은 이 식에서와 같이 가중치 $\sin(\theta)$ 와 같이 적분한다면, 결과는 EUT가 방사

하는 총 전력이 될 것이다. 여기서, 이 적분은 EIRP대신에 ERP (반파장 다이폴을 기준으로 한 유효 방사 전력)로 패턴 측정이 표현된다면 같은 총방사전력을 얻기 위해 수정되어야 한다는 것을 주의해야 한다. 특별히, ERP는 수치적으로 EIRP보다 2.14dB 적다.

$$ERP(\theta, \phi) \cong \frac{EiRP(\theta, \phi)}{1.64}$$

따라서

$$TRP \cong \frac{1.64}{4\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{\phi=0}^{2\pi} ERP(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi$$

적절한 적분 사용은 데이터 패턴 자체를 EIRP나 ERP 형식으로 취하든 수치적으로 같은 TRP(물론 각 경우에서 EUT는 같은 전력을 방사해야 한다)를 얻는다는 것이 중요하다.

실제로, 총 EIRP는 두개의 직교 편파 성분들을 측정함으로써 즉 $EIRP_{\theta}(\theta, \phi)$ 와 $EIRP_{\phi}(\theta, \phi)$ 각각 같은 점에서 측정할 수도 있다. 측정 실용성을 이용하면, 방사밀도를 각 각도에서 두 인자로, 각 편파에서 하나씩(독립적인 성분의 전력은 더한다) 분리할 수 있다:

$U_{\theta}(\theta, \phi)$ = 세타 전계 성분에 의한 방사 밀도

$U_{\phi}(\theta, \phi)$ = 파이 전계 성분에 의한 방사 밀도

식 E-6은 다음처럼 다시 쓸 수 있다.

식 E-8

$$TRP = \frac{1}{4\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{\phi=0}^{2\pi} (EiRP_{\theta}(\theta, \phi) + EiRP_{\phi}) \sin \theta d\theta d\phi$$

E.3 적분을 이산적으로 표본된 패턴 데이터 합으로 변환

TIS와 TRP(식E-5과 식 E-8)는 다음과 같은 적분 형태를 포함하고 있다는 것을 알 수 있다.

식 E-9

$$I = \frac{1}{4\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{\phi=0}^{2\pi} K(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi$$

여기서 K는 켄타와 파이 함수이다. 여기서 이런 형식의 방정식을 켄타와 파이에 대해 균일하게 격자화된 점에서 얻어진 이산 데이터의 합으로 근사화하는 방법을 다루려고 한다. 이것은 부록 B에 주어진 성능지수표현으로 나타내진다.

이 시험계획안에 기술한 것처럼, 측정은 다른 순서로 데이터를 수집하는 다른 위치제어 시스템으로 할 수 있다. 예를 들면, 원뿔스캔 시스템 켄타각을 0도에서 180도(0 to π 라디안)증가시킬 때마다, 파이를 0에서 360도(0 to 2π 라디안) 쪽 스캔시켜 기록한다. 반면에 원형스캔시스템은 파이를 0도에서 180도 증가시킬 때마다, 켄타를 0에서 360도 쪽 주사시켜 기록한다.

그러나 양시스템 다 부록 A와 본문에서 기술한 것처럼 EUT난 팬텀에 대한 같은 점에서 측정값을 기록한다. 그러므로 데이터를 실제로 수집한 순서에 관계없이 데이터를 다시 부록 E.1에 기술한 오른손 좌표계에 대응되는 표준 순서인 켄타는 0도 180도(0 to π 라디안)와 파이는 0도에서 360도(0 to 2π 라디안)으로 고쳐 계산할 수 있다. 이와 같은 데이터 세트는 이 절에서 전개하고자 하는 식의 출발점이다.

켄타와 파이의 각각 균일한 간격에서 얻은 데이터가 있다고 가정한다. 켄타방향 0에서 π 라디안 구간에 N구간이 있고 파이방향 0에서 π 라디안 구간에 M구간이 있다고 하자. i를 켄타 방향

측정점(i의 범위는 0부터 N까지이다)을 나타내는 데 사용되는 지수라고하고 j를 파이 방향 측정점(j의 범위는 0부터 M까지이다)을 나타내는 데 사용되는 지수라고하자.

그러면 주어진 각도(표본 점)는 $(\theta_0, \phi_0) = (0, 0)$ 과 $(\theta_N, \phi_M) = (\pi, 2\pi)$ 와 같이 (θ_i, ϕ_j) 로 표시된다. 시험 형태에 의해 좌우되는 N과 M은 시험 계획에서 설명하는 정확한 각도 간격을 얻기 위해 선택한다. 송신시험에 대해서는, 각도 간격은 15도로 지정한다. 따라서 N은 $180/30 = 6$ 이고 M은 $360/30 = 12$ 이다. 요약하면,

N= 0부터 π 까지 쉼타각 범위에서 각도 간격 수

M= 0부터 π 까지 파이각 범위에서 각도 간격 수

i=i는 각 쉼타 표본에 대한 지수 i지수는 0부터 N까지임

j=j는 각 파이 표본에 대한 지수 j지수는 0부터 M까지임

그러면 쉼타와 파이 간격은 다음과 같다.

식 E-10

$$\Delta\theta = \theta_i - \theta_{i-1} = \frac{\pi}{N}$$

$$\Delta\phi = \phi_i - \phi_{i-1} = \frac{\pi}{M}$$

식 E-9로 되돌아가서, 안쪽 적분(파이에 대한)은 사다리꼴 법칙(trapezoidal rule)을 이용하면 다음과 같이 근사화할 수 있다. ¹⁶

$$I \cong \frac{1}{4\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} \frac{\Delta\phi}{2} \sum_{j=0}^{M-1} [K(\theta, \phi_j) + K(\theta, \phi_{j+1})] \sin \theta d\theta$$

이것을 종래의 형태로 재정리하면 다음과 같다.

$$I \cong \frac{1}{4\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} \left[\Delta\phi \sum_{j=0}^{M-1} K(\theta, \phi_j) + \frac{\Delta\phi}{2} [K(\theta, \phi_j) + K(\theta, \phi_{j+1})] \right] \sin \theta d\theta$$

$\phi_0 = 0$ 와 $\phi_M = 2\pi$ 이고, $K(\theta, \phi_0)=K(\theta, \phi_M)$ 그리고 ϕ_M 의 중복
측정값은 고려하지 않아도 되기 때문에, 합계는 다음처럼 간략화
된다

$$I \cong \frac{\Delta\phi}{4\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} \sum_{j=0}^{M-1} K(\theta, \phi_j) \sin \theta d\theta$$

세타변수 적분에 사다리꼴 근사화(trapezoidal approximation)를
적용하면,

$$I \cong \frac{\Delta\phi}{4\pi} \left\{ \Delta\theta \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} K(\theta_i, \phi_j) \sin \theta_i + \frac{\Delta\theta}{2} \left[\sum_{j=0}^{M-1} K(\theta_0, \phi_j) \sin \theta_0 + \sum_{j=0}^{M-1} K(\theta_N, \phi_j) \sin \theta_N \right] \right\}$$

$\theta_0 = 0$ 와 $\theta_N = \pi$, $\sin(\theta_0)=\sin(\theta_N)=0$ 이고 두번째 항이 없어지기
때문에, 다음만 남는다.

$$I \cong \frac{\Delta\phi\Delta\theta}{2NM} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} K(\theta_i, \phi_j) \sin \theta_i$$

식 E-10을 사용하면 이것은 다음과 같다.

식E-11

$$I \cong \frac{\pi}{2NM} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} K(\theta_i, \phi_j) \sin \theta_i$$

식 E-11에서 (θ_i, ϕ_j) 표본 점들은 단지 $i = 1$ 에서 $N - 1$ 까지
그리고 $j = 1$ 에서 $M - 1$ 까지만 기록하는 것에 주의한다.

따라서 쉼타가 0도와 180도 그리고 파이가 360도(파이가 0도일 때는 기록해야 한다.) 에 해당되는 위치에서는 데이터를 기록할 필요가 없다. 왜냐하면 식 E-11에 사용되지 않기 때문이다. $N = 12$ 이고 $M = 24$ 를 가지고 송신시험인 경우, 이것은 11개의 쉼타면 과 24개의 파이면을 의미하거나, 각 편파에 대해 264번의 측정이 필요함을 의미한다. $N = 6$ 이고 $M = 12$ 를 가지고 수신시험인 경우, 이것은 단지 5의 쉼타면 과 12개의 파이면을 의미하거나, 각 편파에 대해 60번의 측정이 필요함을 의미한다.

¹⁶ Cheney 와 Kincaid가 지은 책(' *Numerical Mathematics and Computing*, Second Edition, Brooks/Cole Publishing, 1985, pp. 161 ff.) 에 있는 예를 보라

불연속인 방정식 E-11을 적분식 E-5 인 TIS에 적용하면, 아래 식을 얻는다.

식 E-12

$$TIS = \frac{4\pi}{\oint \left[\frac{1}{EIS_{\theta}(\theta, \phi)} + \frac{1}{EIS_{\phi}(\theta, \phi)} \right] \sin(\theta) d\theta d\phi} \cong \frac{1}{\frac{\pi}{2NM} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} \left[\frac{1}{EIS_{\theta}(\theta_i, \phi_j)} + \frac{1}{EIS_{\phi}(\theta_i, \phi_j)} \right] \sin \theta_i}$$

or

$$TIS = \frac{2NM}{\pi \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} \left[\frac{1}{EIS_{\theta}(\theta_i, \phi_j)} + \frac{1}{EIS_{\phi}(\theta_i, \phi_j)} \right] \sin \theta_i}$$

여기서 N 과 M 은 물론 수신시험을 위해 적절한 값을 선택해야 한다.

불연속인 방정식 E-11을 적분식 E-8 인 TRP에 적용하면, 아래 식을 얻는다.

식 E-13

$$TRP = \frac{1}{4\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{\phi=0}^{2\pi} (EiRP_{\theta}(\theta, \phi) + EiRP_{\phi}(\theta, \phi)) \sin \theta d\theta d\phi \cong \frac{\pi}{2NM} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} [EiRP_{\theta}(\theta_i, \phi_j) + EiRP_{\phi}(\theta_i, \phi_j)] \sin(\theta_i)$$

or

$$TRP \cong \frac{\pi}{2NM} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} [EiRP_{\theta}(\theta_i, \phi_j) + EiRP_{\phi}(\theta_i, \phi_j)] \sin(\theta_i)$$

여기서 이 경우 N과 M은 각각 12와 24이다.

식 E-12와 E-13은 부록 B에 기술한 TIS와 TRP성능지수이다.

부록F대칭 패턴 안테나(참고)

본문에서 설명한 패턴 대칭 조건을 절대적인 정밀도 요구조건으로 잘못 이해해서는 안 된다. 셀룰러나 PCS밴드에서 선택한 안테나 패턴 측정에 대해 ± 0.1 dB의 조건은 달성할 만하다. 패턴 대칭과 이 값을 선택하는 배경을 분명하게 하기 위해, 단지 정보 제공을 목적으로 다음을 규정한다.

대칭 패턴과 완전한정밀도:

이 사양에서 확장된 불확실성 예산안은 TRP와 TIS 양쪽 측정에서 신뢰도 95%와 2.0 dB이다. 사양이 주어지면, 최종 값에 영향을 주는 완전한 불확실성 예산안에 많은 항목들에 대해 고려해야 한다. 교체부분(예 전력미터)동안 완전한 전력을 측정하는데 사용한 측정기기, 교정된 교체 안테나의 이득을 켈 때의 불확실성, 균일장영역의 정확성(즉 챔버안의 리플이나 반사)등이 불확실성 예이다. 이렇게 많은 불확실성 요인은 이들 주파수 범위에서 아주 작은 불확실성을 만든다. 교정교체 안테나의 3차원 패턴을 종합하면 매우 정확한 지향성기준을 만들 수 있다. 지향성이 거의 없는 장비를 측정하는 경우에, 불확실성 중에 가장 큰 요인 두가지는 보통 전력 측정 장비의 정밀도와 무반사실의 무반사영역의 정확도(리플)이다.

원하는 전체 불확실성을 얻기 위해서는, 실제로 ± 1.0 dB보다 작은 균일장영역이 필요하다. 따라서 무반사 영역을 명확하기 위해서는, ± 1.0 dB 보다 리플 크기가 작은 안테나(무지향성 다이폴이나 루프 전원)를 사용해야 한다. 3절(교체부품에 대해서는 필수는 아님)에 주어진 실험실 평가를 하기 위해 사용한 무지향성 시험 안테나는 ± 1.0 dB으로 대칭인 패턴을 가져야 한다. 패턴 대칭 크기는 축으로 회전하는 전계다이폴을 가지고 쉽게 만

들 수 있다. 이절에서 설명한 균일 전류루프(Alford)를 가지고도 만들 수 있다. (참고문헌 "Loop Antennas with Uniform Current," Proc. IRE, vol. 32, pp. 603-607, October, 1944).

위치제어기의 방위각 회전축에 정확하게 놓인 안테나를 갖고 패턴대칭을 측정한다. 매우 낮은 반사의 무반사실은 무지향성 안테나의 패턴대칭성을 확인하기 위한 필요조건은 아니다. 완전 대칭 무지향성 패턴을 갖는 안테나가 회전 중심에 있다면, 챔버 안에 실질적인 반사가 있더라도 완전 균일 패턴을 구할 수 있다. 이것은 안테나가 회전할 때, 직접과 반사 경로에 대한 신호가 일정하기 때문이다. “무지향” 안테나가 약간 불완전한 “무지향”으로 동작하더라도, 위에서 참고한 균일장영역 리플이 $\pm 1.0\text{dB}$ 만족하지 않는 챔버 안에서도 패턴대칭에 대해서 정량화 할 수 있다.

패턴 대칭성 $\pm 0.1\text{ dB}$ 를 요구하는 사양에 대해서는 주목할 필요가 있다. 사실, 3절(교체부분이 아님)에서 자세히 설명한 실험실 평가에 대해, 이득은 전혀 필요하지 않다. 단지 패턴대칭성을 필요로 한다. 더욱이 $\pm 0.1\text{dB}$ 대칭성 조건은 임의적인 것이 아니다; 확장된 불확실성 조건 $\pm 2.0\text{ dB}$ 에 대한 직접적인 조건을 따르는 것이다.

요약하면 이 사양은 이득 정밀도가 $\pm 0.1\text{ dB}$ 인 실험실 평가 안테나를 필요하지 않는다. 그보다는 실현가능하고 정량화할 수 있는 안테나 패턴 대칭성이 $\pm 0.1\text{ dB}$ 이어야 한다. 이 사양은 현재 실험실(무반사실) 기술을 가지고 이를 수도 있는 신뢰도 95%와 확장불확실성 측정 2.0 dB 를 규정한다. 대칭성 안테나에 대한 추가적인 정보는 CTIA 인증프로그램 직원에게 문의하라.

부록G표준불확실성 값을 계산하는지침

G.1 부정합

다음의 x 그리스 기호는 복소수 반사계수를 x 는 반사계수

크기를 의미한다.

$$\rho_x = |\Gamma_x|$$

측정 구성에서 두개의 부분 또는 부품이 연결하는 곳에는 정합이 완전하지 않다면, 연결부분을 통과하는 RF신호크기에 불확실성이 존재한다. 불확실성의 크기는 두 코넥터 연결부의 VSWR에 좌우된다. 연결부분에서 부정합의 불확실성 범위는 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$\text{불확실성 범위} = |\Gamma_{generator}| \times |\Gamma_{load}| \times |S_{21}| \times |S_{12}| \times 100 \% \text{ Voltage}$$

여기서, $|\Gamma_{generator}|$ 는 신호발생기의 복소수 반사계수의 절대값;

$|\Gamma_{load}|$ 는 부하(수신장비)의 복소수 반사계수의 절대값;

$|S_{21}|$ 는 네트워크에서 관심이 가는 두개의 반사계수 중 전방향이득;

$|S_{12}|$ 는 네트워크에서 관심이 가는 두개의 반사계수 중 역방향이득.

주: 두 부분이 바로 연결되어 있다면 S_{21} 과 S_{12} 는 1이다. 선형 네트워크에서 S_{21} 과 S_{12} 는 동일하다.

부정합 불확실성의 분포는 U자 모양이다. 따라서 표준 불확실성은 다음처럼 계산 된다:

$$u_{j \text{ mismatch:individual}} = \frac{|\Gamma_{generator}| \times |\Gamma_{load}| \times |S_{21}| \times |S_{12}| \times 100\%}{\sqrt{2}} \text{ Voltage \%}$$

이것은 11.5로 나누어 dB로 환산할 수 있다. (표 7-1또는 ETSI TR 102 273의 5.2항을 보라):

$$u_{j \text{ mismatch:individual}} = \frac{|\Gamma_{generator}| \times |\Gamma_{load}| \times |S_{21}| \times |S_{21}| \times 100\%}{\sqrt{2} \times 11.5} \text{ dB}$$

시험 구성에서 몇 개의 연결부분이 있다면, 이들은 서로 상호작용을 하여 결합된 부정합 불확실성에 영향을 준다. TR 102 273 부록에 결합된 부정합 불확실성을 계산하기 위한 방법을 자세히 설명하였다.

G.2 케이블 요인

주1: 이 불확실성은 측정 안테나에 만 적용한다.

주2: 측정 안테나가 방향성(즉 최고 이득이 >+5dBi 예 혼,LPDA 등)이 있다면, 표준 불확실성은 0.00dB 값을 취한다. 측정 안테나 이득이 이외의 다른 모든 경우(즉 다이폴, 슬리브 다이폴, 루프 등)에서는 다음 규칙을 적용한다:

- 교체부분과 EUT측정간의 시간간격을 바꾸지 않는다면, 케이블 상호작용은 (이것이 페라미트 그리고/또는 발룬에서 “피복”이 되어있는지) 두 시험 부분에서 같다고 한다. 따라서 표준 불확실성 값(표에 넣기 위해)은 0.00dB.
- 케이블이 바뀌거나 다른 경로로 하면, 그러나 페라미트 그리고/또는 발룬에서 “피복”이 같은 (또는 비슷한)경우는, 표준 불확실성 값을 0.50dB으로 한다.
- 피복이 바뀌고 페라미트 그리고/또는 발룬이 시험부분의 한 부분만 있다면, 시험 측정부분에 0.00dB를 집어넣고, 교체부분

에는 4.00dB을 넣는다. (이 값의 정당성은 ER 102 273의 부록 A의 A.5 그리고 부록E에 찾을 수 있다.)

G. 3 삽입손실

- 양쪽 시험 부분측정에 같은 케이블을 안테나 입력에 사용한 곳에는 양쪽 시험을 위한 표에 표준 불확실성 값을 0.00dB 넣는다.
- 시험 부분 한쪽에서만 임의의 케이블을 사용한 곳과 계산에 삽입손실이 사용하는 곳에는, 관련 표에 삽입손실 측정에 대한 전체 결합된 표준 불확실성을 사용하거나 제조업체의 관련 데이터를 참고해야 한다. 후자의 경우, 불확실성은 $\pm x$ dB로 표현한다. 이 불확실성 분포에 대한 특별한 언급이 없으면, 표준 불확실성을 최대값/ $\sqrt{2}$ 으로 계산하는 구형분포로 가정한다.

G.4 수신 장비(스펙트럼 분석기, 측정수신기 또는 기지국 모의장치)

수신장비는 TRP시험에서 절대 크기 또는 기준크기로서 수신 신호크기를 측정하는 데 사용된다. 일반적으로 수신장비는 다음 두 가지로 불확실성 성분에 영향을 준다: 절대크기 정확도와 비선형성이다. 두 성분이 모두 시험 EUT부분에 다 존재한다. 그러나 교체부분의 불확실성에서는 절대크기정확도만 존재한다. 이들 불확실성 발생요인들은 제조업체의 데이터파일에서 얻어야 한다. 그리고 이것들은 필요하다면 dB로 환산해야 한다.

G. 5 신호발생기 또는 기지국 모의장치

수신장비와 비슷한 방법으로, 교체부분과 TIS측정 각각에 신호발생기 또는 기지국 모의장치는 두 가지 방법(절대크기 그리고 안정성)으로 불확실성에 영향을 끼친다. 이들 불확실성 발생요인

들은 제조업체의 데이터파일에서 얻어야 한다. 그리고 이것들은 필요하다면 dB로 환산해야 한다.

G. 6 교정된 교체 안테나의 이득

주: 교정된 교체 안테나가 방향성(즉 최고 이득이 $>+5\text{dBi}$ 예 혼,LPDA등)이 있다면, 이득에 대한 표준 불확실성은 측정 시 기록된 값을 취해야 한다. 측정 안테나 이득이 이외의 다른 모든 경우(즉 다이폴, 슬리브 다이폴, 루프 등)에서는 다음 규칙을 적용한다.

- 다른 시험 챔버에서 같은 고정대와 설치대를 사용하여 교정된 교체 안테나 이득을 측정한 곳에서는, 표준 불확실성은 측정 시 기록된 값으로 해야 한다
- 다른 시험 챔버에서 다른 고정대와 설치대를 사용하여 교정된 교체 안테나의 이득을 측정한 곳에서는, 표준 불확실성은 고정대와 설치대에 의한 요인을 고려한 RSS방법과 측정 시 기록된 값으로 해야 한다. 설치대에 대한 표준 불확실성은 0.5dB 로 한다.
- 같은 고정대와 설치대를 사용하고 같은 시험 챔버에서 교정된 교체 안테나의 이득을 측정한 곳에서는, 표준 불확실성은 측정 시 계산된 값으로 해야 한다.

G. 7 측정 거리

주: 측정거리는 3.1절에 주어진 값보다 작은 곳에서 측정은 유효하지 않다.

G.7.1 회전축(들)으로부터 EUT의 위상 중심 오프셋

이 시험 계획안에서 정의한 모든 측정은 양쪽 측정 축에서 귀 기준 점(위상 중심 위치라고 가정한) 으로 EUT와 팬텀이 결합된

것을 회전시키는 것을 조건으로 한다.

여러 가지 이유(예 회전판이 너무 작아 적절한 오프셋이 어렵다 등)로 이것은 실제로 불가능하다. 이런 경우에는 측정 불확실성 요인이 발생할 것이다. 왜냐하면 위상 중심이 회전 중심주위를 영이 아닌 반지름을 갖고 회전하고 이것은 측정 거리가 변하는 결과를 주기 때문이다.

결과를 처리하는 데 포함된 데이터 평균을 취하는 과정 때문에 이 불확실성은 자체적으로 상쇄될 가능성이 있다. 그러나 오프셋이 측정거리의 큰 부분을 차지하는 곳에서는, 발생된 각도 왜곡의 크기(특히, “broadside”방향)는 다르게 기술되어야 할 것이다.

이 효과의 크기를 측정하는 몇 개의 제안된 시험들이 있지만, 여기서는 이 효과에 의한 요인을 불확실성 예산안에 넣지 않는다.

G.7.2 회전축(들)로부터 교정된 교체 안테나의 위상 중심 오프셋

교체 부분 측정(교정 교체안테나가 포함되어 있는 곳)에 대해서는, 회전축(들)에 위상 중심을 위치시키는 정밀도에 대한 불확실성은 측정 부분에 직접 불확실성을 발생시킬 것이다. 슬리브 안테나와 다이폴인 경우 이들 위치에 많은 신경을 쓴다면 불확실성은 0.00 dB이다. 왜냐하면 이들 위상 중심은 쉽게 같다는 것을 증명할 수 있기 때문이다. 그러나 리지드 혼(ridged horn)안테나와 LPDA에 대해서는 위상중심을 데이퍼 부분 내에 어느 점에나 있게 할 수 있다:

리지드 혼인 경우: $d = \text{데이퍼 길이} \times 0.5$, 최대 위치 불확실성은 $\pm d$

LPDA인 경우: $d = \text{활대(boom) 길이} \times 0.5$, 최대 위치 불확실성은 $\pm d$

이들 이치 불확실성으로 인한 불확실성의 크기는 다음과 같이 계산돼야 한다:

$$\pm 20 \log_{10} \left(\frac{\text{measure distance} - d}{\text{measure distance}} \right)$$

이 불확실성 크기는 구형 분포로 가정하기 때문에 표준 불확실성은 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 으로 나누어야 한다.

G.7.3 EUT가 측정 안테나를 막을 때의 차단효과(너무 가까이 있는 경우)

이 불확실성은 EUT가 측정안테나가 방사하는 전력을 ‘차단’할 수 있기 때문에 즉 에너지를 안테나로 다시 되돌려 보내기 때문에 발생한다. 결과적으로 이것은 실험실안에 측정 안테나와 EUT사이에 정재파비도 발생하면서 입력 임피던스/VSWR을 변화시킬 수 있다.

얻어진 불확실성 크기는 안테나의 방향성과 측정거리에 따라 좌우된다. 측정거리가 감소함에 따라 그리고 측정 안테나의 방향성이 증가(이득이 증가)함에 따라 불확실성은 증가한다. 이 효과의 크기는 EUT 그리고/또는 측정 안테나의 안테나가 회전(왜냐하면 ‘차단’영역이 각도에 따라 변화하기 때문이다.)함에 따라 변화한다. 그러므로 얻어진 불확실성에 대한 허용범위를 만들어야 한다.

주: 이들 불확실성은 두부팬텀에 대한 EUT시험에 만 적용된다.

G.7.3.1 VSWR

불확실성을 평가하기 위해서는, EUT와 팬텀두부를 구좌표의 전 각도로 회전시키면서, 측정안테나의 입력 VSWR을 바로 입력

커넥터(즉, 입력커넥터에 일상적으로 연결된 어떤 감쇄기도 제거한 상태에서)에서 관찰해야 한다. 전체 각도에서 관찰된 VSWR의 최대값과 최소값을 기록한다. 이 두값을 비교함으로써 다음과 같이 불확실성 요인이 계산된다.

예: 최대 VSWR: 2.5:1 (즉 관련된 전송손실이 0.88 dB를 갖고 7.36 dB의 반사손실)

최소 VSWR: 1.5:1 (즉 관련된 전송손실이 0.18 dB를 갖고 13.98 dB의 반사손실)

전송손실사이간의 차이의 반을 계산한다. 즉,

$$\left| \frac{(0.18-0.88)}{2} \right| = 0.35\text{dB}$$

표준 불확실성을 계산한다. (불확실성이 구형 분포를 갖는다고 가정하면) 즉:

$$u_j = \frac{0.35}{\sqrt{3}} = 0.20 \text{ dB}$$

주: TRP나 TIS시험시 측정 안테나입력단에 감쇄기(최소 6 dB)를 연결하면 이 불확실성은 0.00dB로 감소된다.

측정안테나 입력단에 감쇄기를 연결하지 않는 경우에, 이 효과는 전체 부정합 불확실성에 영향을 준다. 측정안테나를 포함(K.1을 보라)한 불확실성 성분을 계산기 위해 사용된 반사 손실 값은 평균 반사 손실값이다. 평균반사손실이 0.53 dB인 위의 예에서 VSWR이 2.03을 사용해야 한다.

G.7.3.2 실험실(챔버)의 정재파비

감쇄기가 측정안테나에 연결되는 것과는 상관없이, EUT(팬텀을 덧붙여서)와 측정안테나 사이에서 변하는 정재파비를 무반사

실 내에서 설정한다. 다시 위의 G.7.3.1절에서 설명한 것과 같이 측정 안테나의 방향성을 증가시키고 측정거리를 감소한다면 변화 정도는 증가할 것이다.

정확하게 얻어진 불확실성 크기를 측정하기 위해서는, 측정거리를 변화시키면서 여러 번 반복 측정을 하면서 정재파비를 측정할 필요가 있다. 이것은 실용적이지는 못하다. 따라서 예상치로서, G7.3.1(VSWR에서 측정변화에 기초를 둔)에 주어진 불확실성을 계산하는 데, 불확실성 표에 넣는 값을 가지고 계산 한다.

주:감쇄기를 사용하면 불확실성 요인은 영으로 줄어들지 않는다.

G.7.4 EUT를 지나는 위상굴곡

본문에 있는 측정거리에 대한 방정식에서 측정 안테나 크기는 고려하지 않는다. 이론적으로, 두개의 크기(크기가 d_1 와 d_2 임)가 일정한 곳에서 시험 대상을 가로질러 얻어진 위상분포로 인한 무시할 수 있는 불확실성을 얻기 위해서 두 틈은 다음과 같이 떨어져 있어야 한다.

$$\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda} \quad (\text{TR 102 273보라})$$

이것은 크기를 300mm로 한 팬텀에 대해 EUT를 시험할 때만 불확실성에 영향을 주는 안자이다. 표 G-1은 거리를 만족하지 않는다면 취해야 할 불확실성요인을 보인 것이다.

표 G-1 부적절한 측정거리에 대한 표준 불확실성

측정거리	표준 불확실성 기여
$(d1+d2)/4 \leq \text{측정거리} < (d1+d2)/2$	1.26 dB
$(d1+d2)/2 \leq \text{측정거리} < (d1+d2)$	0.30 dB
$(d1+d2) \leq \text{측정거리} < 2(d1+d2)$	0.10 dB
$\text{측정거리} \geq 2(d1+d2)$	0.00 dB
주: $d1$ 과 $d2$ 는 각각 EUT와 측정안테나의 최대 크기이다	

표G-1를 만들기 위한 가정이 있지만, 관련값을 택하고 불확실성 표에 대입해야 한다.

G.8 무반사 영역내의 신호크기의 리플

무지향성 탐침 안테나(슬리브 다이폴과 루프안테나)를 사용하여, 본문에서 자세히 설명한 절차를 검증하는 동안 신호크기의 리플을 측정한다. 리플 측정은 전 무반사 영역에서 다른 신호경로를 갖는 챔버와 장비의 위치의 상호작용을 측정하는 것을 매우 철저하게 규정한 것이다.

리플시험 결과는 리플 시험에서 같은 방향을 갖는 이론적인 등방성 방사체/수신기 또는 무지향성 방사체/수신기에 대한 EIRP나 EIS에서 최악의 편차를 나타낸다. 다른 측정 양과 관련된 측정 불확실성에 적합한 값은 다음과 같이 결정한다.

G.8.1 TRP와 TIS 적분에 미치는 리플 영향

TRP와 TIS시험에서 시험계량(EUT들 간의비교를 위해 사용되는 양)은 EIRP 또는 EIS의 구좌표의 표면 적분의 결과이다. 전체 적분 값에서 단일위치에서 EIRP/EIS 의 영향을 예측하기 위해서, 표면 표준편차(SSD:surface standard deviation)로 불리는 통계적인 불확실성 값을 정의할 필요가 있다. SSD는 무반사 영역 어딘

가에 위치한 이론적인 등방성 방사체에 대한 A형태의 불확실성 값을 결정하기 위해 리플시험 결과를 이용한다. 측정되고 계산된 무지향성 안테나와 지향성 안테나 양쪽 모두의 실험 결과는, 리플 SSD에 의해 예측된 불확실성이 EUT 패턴의 예상 범위에 대한 TRP/TIS 적분값 변화를 포함한다는 것을 지적하고 있다.

읽은 N개의 표본의 표준 편차는 다음과 같다:

식 G-1

$$s(q_k) = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \sum_{k=0}^{N-1} (q_k - \bar{q})^2} .$$

선형 전력에서 상대적인 편차로 나타내면 이것은 다음과 같다:

식 G-2

$$s(p_k) = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \sum_{k=0}^{N-1} \left(\frac{p_k}{p} - 1 \right)^2} ,$$

여기서 p_k 개별적인 리플 측정점이다. 선형단위($p_k = 10^{p_k(\text{dB})/10}$)로 환산되며, p 는 관련된 리플 측정의 평균이며 선형단위이다. 이 방정식은 파이축 리플 시험에 대한 SSD를 제공한다. 왜냐하면 표면적분에 대한 EIRP/EIS의 영향은 각 파이 각에서는 같기 때문이다.

세타 축 리플에 대해서는, 표면적분에 대한 각 EIRP/EIS 점의 영향은 세타 각에 좌우되며, 따라서 그 점에서 어떤 에러요인도 세타 각에 좌우된다. 구좌표의 가중치를 준 인자는 다음과 같다:

식 G-3

$$s(p_k) = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \sum_{k=0}^{N-1} \left[\left(\left(\frac{p_k}{p} - 1 \right) \sin(\theta_k) \right)^2 \right]}.$$

이것은 $\theta = 90^\circ$ 일때 앞서의 식으로 간략화됨을 주목하라. 리플 시험에 의한 표준 불확실성 요인은 모든 방향, 오프셋 그리고 리플 시험의 편파값 중에서 최대값으로 주어진다:

식 G-4

$$u(x) = 10 \log(1 + \max(s_j(p_k)))$$

식 G-4는 $N > 50$ 에 해당되는 표7-2 에 있는 값을 나타낸다. $N \leq 50$ 에 대해서는 적절한 범위의 요인을 적용해야한다.

G.8.1.1 표면 표준편차 적용

각 구성에 대한 불확실성을 발생하기 위해서 각 필요한 밴드와 위치제어 시스템 구성(자유공간 대 SAM팬텀등)에 대해 다음 절차를 반복한다.

1. 각 리플시험 측정에 대해
 - a. 리플 값의 선형 평균을 계산한다.
 - b. 식G-3을 이용하여 구좌표로 가중치된 표면표준편차를 계산한다. 파이축 리플시험 결과를 얻기 위해서는 $\theta = 90^\circ$ 를 이용하라.
2. 모든 13개의 리플시험 위치에서 최대 SSD를 선택하라. 식 G-4를 이용하여 dB로 표준 불확실성을 계산한다. 이 값은 표 7.2의 불확실성 계산 안에 직접 사용해야 한다.

G.8.1.2 불확실성 해석 대 에러요인

이 방법으로 구한 불확실성 값에 신뢰성을 주기 위해, 리플시험

에서 예상된 불확실성의 TRP/TIS 적분과 실제 에러 요인과의 비교하는 것은 매우 유용하다. 이것은 EUT에 대해 등방성 방사패턴이라는 가정 하에 엄격하게 수행되어야만 한다. 그러나 위에 언급한 것처럼 이 결과는 다른 등방성이 아닌 이 시험 계획안에 관련된 EUT에 대해서도 신뢰성이 있는 것으로 간주한다.

특정한 경우를 시험하는 것과 불확실성을 확장한 실제 패턴모양에 대해서, SSD가 TRP/TIS 에러를 포함하고 있다. 이 방정식은 단지 TRP를 참고하지만 TIS와 같은 절차를 따를 수 있다. 식 B-1부터 시작하자:

식 G-5

$$TRP \cong \frac{\pi}{2NM} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} [EiRP_{\theta}(\theta_i, \phi_j) + EiRP_{\phi}(\theta_i, \phi_j)] \sin(\theta_i) .$$

각 점에서 총 EIRP와 관련 에러항을 가지고 표현하면:

식 G-6

$$TRP + Error_{TRP} \cong \frac{\pi}{2NM} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} [EiRP_{total}(\theta_i, \phi_j) + Error(\theta_i, \phi_j)] \sin(\theta_i) ,$$

이것은 상대적인 TRP로서 다음과 같이 나타낸다:

식 G-7

$$1 + \frac{Error_{TRP}}{TRP} \cong \frac{\frac{\pi}{2NM} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} [EiRP_{total}(\theta_i, \phi_j) + Error(\theta_i, \phi_j)] \sin(\theta_i)}{\frac{\pi}{2NM} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} EiRP_{total}(\theta_i, \phi_j) \sin(\theta_i)} .$$

이것은 다음과 같이 간단해진다.

식 G-8

$$\frac{Error_{TRP}}{TRP} \cong \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} Error(\theta_i, \phi_j) \sin(\theta_i)}{\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} EiRP_{total}(\theta_i, \phi_j) \sin(\theta_i)} .$$

리플 시험에서 단지 하나의 회전축에서 축을 따라 변화가 발생한다. 그래서 이 식을 더욱 간단화 시킬 수 있다. 각 축이 일정하게 고정되어 있다고 해도 다음 식은 리플가 쉼타 축을 따라 있다고 가정한다. 파이축의 결과도 이와 비슷하다. 쉼타 리플 시험 구조로 교체되면 다음 식으로 나타내진다.

식 G-9

$$\frac{Error_{TRP}}{TRP} \cong \frac{\sum_{i=1}^{N-1} Error(\theta_i) \sin(\theta_i)}{\sum_{i=1}^{N-1} EiRP_{Total}(\theta_i) \sin(\theta_i)} .$$

$N > 50$ 라고 가정하면, 95%신뢰도($k=2$)에 대한 확장된 불확실성은 다음과 같다.

식 G-10

$$U = 2u(x) .$$

확장불확실성의 선형 표현은 다음과 같이 주어진다.

식 G-11

$$U_{lin} = (1 + s_{\max}(p_k))^2 = \left(1 + \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \sum_{k=0}^{N-1} \left[\left(\frac{p_k}{p} - 1 \right) \sin(\theta_k) \right]^2} \right).$$

리플시험에서 상대적인 리플은 주어진 EIRP점에서 상대적인 에러와 동일 하다고 가정 한다. 그러면 쉘타축 리플은 다음과 같이 주어진다

식 G-12

$$U_{lin} = \left(1 + \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \sum_{k=0}^{N-1} \left[\left(\frac{Error(\theta_i)}{EiRP_{Total}(\theta_i)} \sin(\theta_i) \right)^2 \right]} \right).$$

비율을 정규화시킬 수 있다. 그러면 모든 곳에서 1(등방성 방사체와 동일하다)이다. 그리고 각 EIRP점에서 상대적인 에러로 새로운 에러항을 정의할 수 있다. 그러면 확장된 불확실성은 다음과 같이 간단해 진다.

식 G-13

$$U_{lin} = \left(1 + \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \sum_{k=0}^{N-1} \left[\left(Error'(\theta_i) \sin(\theta_i) \right)^2 \right]} \right)^2.$$

Error'(θ_i)=0인 극단적인 경우, 이것은 $U_{lin}=1$ 를 감소시켜 $U = 0$ dB로 한다. 등방성 방사체인 경우, TRP에러 식은 다음과 같이 된다.

식 G-14

$$Error'_{Total} \cong \frac{\sum_{i=0}^{N-1} Error'(\theta_i) \sin(\theta_i)}{\sum_{i=0}^{N-1} \sin(\theta_i)} = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} Error'(\theta_i) \sin(\theta_i)}{2(N-1)/\pi}.$$

$Error'(\theta_i) = 0$ 인 극단적인 경우, 이것은 $Error'_{TRP} = 0$ 으로 감소시킨다. 불확실성과 비교하기 위한 대응되는 선형값은 $1 + Error'_{TRP}$ 로 주어진다. $Error'_{TRP} = 0$ 일때 이것은 0 dB에러의 결과를 낳는다. 상대적인 에러는 -1보다 작을 수 없다는 것을 주목해야 한다. 왜냐하면 이것은 불가능한 것이지만 $TRP + Error' < 0$ 를 의미하기 때문이다. 이들 두식을 비교하면 다음과 같다.

식 G-15

$$\left(1 + \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \sum_{k=0}^{N-1} \left[\left(Error'(\theta_i) \sin(\theta_i) \right)^2 \right]} \right) \text{ and } 1 + \frac{\sum_{i=0}^{N-1} Error'(\theta_i) \sin(\theta_i)}{2(N-1)/\pi}$$

이 두 식이 같아짐을 주목하라.

G.8.2 범위 교정에 대한 리플 효과

TRP와 TIS값을 적분하는 하는 것 이외에 추가로, 범위교정(교체부분)은 단일 리플 효과를 잠재적으로 받는다. 교정된 교체 안테나의 위상 중심이 균일장영역 중심에 위치하고 있을 때 갖는 정밀도에 의해 리플에 의한 불확실성 성분 값은 좌우된다.

- 교정 교체 안테나가 슬리브 다이폴 또는 자성체 루프 인 곳에서, 위치가 중요하면 안테나를 축에 정밀하게 위치시킨다. 그러면 표준 불확실성 값은 0.00 dB이다.
- 교정교체안테나가 리지드(ridged)안테나인 곳에서는, 위치 불확

실성(위상중심은 알수 없다고 가정한다) 은 $\pm 0.5 \times$ 안테나의
벌어진 부분(flated section)의 길이와 같다고 간주한다. 결과적
으로 신호크기 리플는 다음과 같이 택한다.

$$\left(1 + \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \sum_{k=0}^{N-1} \left[\left(Error'(\theta_i) \sin(\theta_i) \right)^2 \right]} \right) \text{ and } 1 + \frac{\sum_{i=0}^{N-1} Error'(\theta_i) \sin(\theta_i)}{2(N-1)/\pi}$$

- 그리고 표준 불확실성은 σ 으로 나누어 계산한다. 왜냐하
면 불확실성은 구형 분포라고 생각한다.
- 교정교체안테나가 LPDA안테나인 곳에서는, 위치 불확실성(위
상중심은 알수 없다고 가정한다) 은 $\pm 0.5 \times$ 안테나 길이와
같다고 간주한다. 결과적으로 신호크기 리플는 다음과 같이
택한다.

$$\sin \left(\left(\frac{0.5 \times \text{length, mm}}{150} \right) .90 \right) \times \text{max. ripple}$$

그리고 표준 불확실성은 σ 으로 나누어 계산한다. 왜냐하면 불
확실성은 구형 분포라고 생각한다

G.9 영향을 주는 양

온도는 이 시험 계획안에서 다루는 시험에 있는 유일한 양이
다. 이것은 EUT가 송신할 때 TRP 뿐만 아니라 수신시에 이것의
민감도(TIS)에 영향을 준다.

TRP시험:

대표적인 측정 불확실성 계산 예:

대기 온도 = 20°C

변동 = $\pm x^{\circ}\text{C}$.

대기온도의 불확실성은 ETSI TR 100 028의 1과 2부분에 각각 있는 5.2식과 표 F.1을 이용하면 크기불확실성으로 환산되어진다. 이 표 5.1에서 찾을 수 있는 종속값들은

- 4 % 전력/ $^{\circ}\text{C}$ 의 평균;
- 1.2 % 전력/ $^{\circ}\text{C}$ 표준편차.

표준 불확실성은 다음과 같이 계산되어 진다.

$$u_{j \text{ temperature uncertainty}} = \frac{\sqrt{\left(\frac{(x^{\circ}\text{C})^2}{3}\right) \times \left((4.0\%/^{\circ}\text{C})^2 + (1.2\%/^{\circ}\text{C})^2\right)}}{23} \text{ dB}$$

TIS시험

대표적인 측정 불확실성 계산 예:

대기온도 불확실성은 $\pm x^{\circ}\text{C}$ 이다.

대기온도의 불확실성은 식 5.2(of TR 100 028-1 [3])과 표 F.1을 이용하면 크기불확실성으로 환산되어진다. 이 표 5.1에서 찾을 수 있는 종속값들은

- 2.5% V/ $^{\circ}\text{C}$ 의 평균;
- 1.2 % V/ $^{\circ}\text{C}$ 표준편차

표준 불확실성은 다음과 같이 계산되어 진다.

$$u_{j \text{ temperature uncertainty}} = \frac{\sqrt{\left(\frac{(x^{\circ}C)^2}{3}\right) \times \left((2.5\%/^{\circ}C)^2 + (1.2\%/^{\circ}C)^2\right)}}{11.5} \text{ dB}$$

G. 10 팬텀에 대한 EUT의 위치불확실성

두부팬텀과 EUT의 위치에 의해 즉 얼마나 가깝게 요구하는 “접촉”위치(부록 C.3에 설명함)에 위치시키느냐에 따라 불확실성 성분은 발생한다. 여기에 포함된 중요한 요인은 두부팬텀에 대한 상대적인 전화기의 각도라고 믿고 있다. 즉 요구하는 60°에 얼마나 잘 만족시키는가 그리고 “접촉”위치를 얼마나 가깝게 구현하는가가 주요 요인이다.

이 효과의 크기를 측정하는 몇 개의 제안된 시험들이 있지만, 여기서는 이 효과에 의한 요인을 불확실성 예산안에 넣지 않는다.

G. 11 교정 교체안테나와 EUT간의 차이점

이상적인 교체 측정에서 교정된 교체 안테나의 방사패턴과 편파 성능은 EUT에 대해 같은 것이어야 한다. 이 조건이 맞지 않는 때마다 불확실성은 발생된다. 차이가 매우 클 때(예 단일 편파가 아닌 지향성을 가진 EUT를 측정하기 위해, 상대적으로 순수한 편파를 갖는 무지향성 안테나를 표준으로 사용할 때 또는 이 반대인 경우) 불확실성은 최대값을 가질 것이다.

이 시험 계획안에서 다루는 측정에 대해, EUT는 지향성 특성(즉 이동국을 측정할 때 두부팬텀에 놓여있어야 한다.)이나 무지향성 특성(즉 자유공간에서 측정할 때)을 가지고 있다. 같은 교정 교체 안테나를 이 두 경우에 사용한다면 이 두 측정중 하나는 이

효과 때문에 불확실성 요인을 포함하게 된다.

이 효과의 크기를 측정하는 몇 개의 제안된 시험들이 있지만, 여기서는 이 효과에 의한 요인을 불확실성 예산안에 넣지 않는다.

G.12 EUT에서 변조 검출

수신 성능은 디지털 에러율(달리 말하면 비트 에러율, BER로 알고 있는)을 측정함으로써 결정된다. 측정 정확도는 실제 송신된 비트와 같은 수신된 비트에 의해 결정된다. 수신 신호의 크기가 잡음대에 가까워지면(따라서 신호대 잡음비가 낮아진다), 비트 에러 확률은 높아진다. BER에서 비트 에러로 인한 불확실성 논의에 대해서는 측정에 사용한 기지국 모의 장치의 안내서 또는 ETSI 보고서 TR 102 273 Part 1, subpart 1, section 6.6 또는 TR 100 028 Part 1, section 6.6를 참고해야 할 것이다.

G.13 TIS 측정에서 성긴(coarse) 표본 격자

TIS 측정에서 표본 격자는 양각과 방위각 축에서 각각 30도이다. 이 간격에 대해 결과와 무한정 작은 표본 격자인 경우의 결과와 비교했을 때 얼마나 다른가를 평가함으로써 불확실성을 결정한다. 모든 시험장은 같은 간격 30도의 격자점에서 측정하도록 되어 있기 때문에 모든 결과는 같은 불확실성 값을 갖을 것으로 생각할 수 있다. 그러나 이것은 옳은 것이 아니다. 왜냐하면 임의의 시작 각도에서부터 각도를 변화시킬 때 포함되는 영점이 있고 또는 없을 수도 있어, 격자의 시작 각도에 따라 상당히 다른 결과를 불러일으키기 때문이다. 따라서 시험장으로 인해 잠재적으로 어떤 변화가 있을 수 있다. 이들 불확실성의 일반적인 값은 모든 불확실성 예산안에 기입되거나 설정해 놓을 것을 제안한다.

어떤 시험 그리고/또는 연구는 이 효과 크기를 측정할 수 있다고 제안되고 있다. 여기서는 이 효과에 의한 요인을 불확실성 계산안에 넣지 않았다.

다.

주:TRP에서 사용한 15°표본 격자는 무시할 만한 불확실성을 발생한다고 가정한다.

G.14 랜덤 불확실성

측정 불확실성의 모든 신호원은 불확실성 분석에서 동일시된다면, 랜덤 불확실성에 요인을 추가할 필요가 없다. 왜냐하면 결과에 영향을 주는 변화는 하나 또는 그이상의 개별적인 불확실성 성분의 변화에만 기인해야 하기 때문이다. 따라서 랜덤불확실성 요인은 모든 시험에서 0.00 dB로 해야 한다.