

5G FR2 단말 적합성 시험을 위한 방사 (OTA) 시험 메트릭에 관한 연구

곽 필근[°], 김 민 수^{*}, 송 태 승^{*}

A Study on Over-The-Air (OTA) Test Metrics for UE Conformance Testing on the 5G FR2 Millimeter Wave

Phil-keun Kwak[°], Min-su Kim^{*}, Tae-seung Song^{*}

요 약

5G는 그 자체로 거대산업이자 4차 산업혁명을 촉발시키는 핵심 기반으로써 각국의 치열한 경쟁과 관심을 받으며 상용화되었다. 3GPP의 5G NR(New Radio)은 주파수 대역이 FR1(410 MHz - 7,125 MHz)과 FR2(24.25 GHz - 52.6 GHz)로 분리되어 있다. 5G FR2(밀리미터파)대역에서의 단말시험은 적합성 전 분야(Tx, Rx, Performance, RRM, Protocol)에서 공중복사(OTA, Over the Air)시험을 기준시험방법(Baseline)으로 정의하고 있다. 방사시험은 측정불확도 증가, 측정거리에 따른 챔버 크기 증가, 피시험기기의 거치, 측정구성의 복잡성에 의한 측정시간 및 비용 증가 등의 다양한 기술적인 이슈를 야기한다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 3GPP RAN WG5(이동 단말 적합성 시험반)의 표준화 동향을 파악하고 적합성 시험에 필요한 측정 메트릭과 측정불확도 및 측정 포인트에 대해서 분석한다.

Key Words : 5G, FR2, OTA, Conformance Test, RAN5

ABSTRACT

5G is a major industry in itself and a core infrastructure that triggers the 4th Industrial Revolution and has been commercialized with intense competition and attention from many countries. The frequency band of 5G NR(New Radio) in 3GPP is divided into FR1(410 MHz - 7,125 MHz) and FR2(24.25 GHz - 52.6 GHz). UE conformance testing in the FR2(millimeter wave) defines the OTA(Over the Air) testing as a baseline in all areas of conformance testing(Tx, Rx, Performance, RRM, Protocol). The radiation test causes many technical issues such as an increase in measurement uncertainty, an increase in the chamber size according to the measurement distance, mounting of the equipment under test(EUT), and measurement time and cost increase due to the complexity of test configuration. This study demonstrated that the standardization trend of 3GPP TSG-RAN WG5(UE conformance testing) to address these issues and analyzed the test metrics, measurement uncertainty, and measurement points required for conformance testing.

※ 본 연구는 산업통상자원부 산업혁신기반 구축사업 (과제번호 : P0014270)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

•° First and Corresponding Author : Korea Testing Laboratory, pkkwak@ctl.re.kr, 정회원

* Korea Testing Laboratory, 미래통신기술센터, mskim83@ctl.re.kr, 정회원; tssong@ctl.re.kr, 정회원

논문번호 : 202008-184-A-RE, Received July 31, 2020; Revised October 12, 2020; Accepted October 19, 2020

I. 서론

지난 '15년 ITU(국제전기통신연합)에서는 5세대 이동통신기술의 네트워크, 장비 및 서비스에 대한 성능요구사항, 개발 로드맵 및 기술적인 비전을 제시하였다¹⁾. ITU의 비전에 맞추어 IMT-2020의 가장 유력한 후보기술로 3GPP의 5G가 후보기술로 제출되었고 기술평가 수행 중에 있다.

5G는 NR(New Radio)로 단독 구성된 RIT와 NR과 E-UTRA의 복합구성인 SRIT(Set of Radio Interface Technologies)로 제출되었고 전 세계 산업계의 관심을 받으며 상용화가 개시되었다. 한편 국내에서는 2018년 8월 5G NR의 주파수 대역인 FR1(410 MHz - 7,125 MHz)의 3.5 GHz와 FR2(24.25 GHz - 52.6 GHz)의 28 GHz에서 5G 무선설비 기술기준이 고시되었고 당해 각각의 대역에 대해서 시험방법 표준안이 마련되었다²⁾. 법규가 정비되고 '19년 4월 세계 최초로 5G 통신 서비스를 개시하였으나 그 이면에는 5G단말의 적합성 시험분야에서 여전히 많은 기술적 과제를 안고 있다.

3GPP에서는 FR2 대역의 무선송수신(Tx/Rx), 복조/채널상태 성능(Performance-Demod/CSI), 무선자원관리(RRM, Radio Resource Management), 프로토콜의 적합성 시험 전 분야에서 원거리장(Far Field)환경하의 방사(OTA, Over the Air)시험을 기준시험방법(Baseline)으로 정의하고 있다³⁾.

2017년 5월 RAN5 #75차 정기회의에서 5G는 신규작업항목(New Work Item)으로 승인된⁴⁾ 이후 연 4회 정기회의와 총 5회의 Adhoc 회의로 시험규격 완성도가 급속히 진전되고 있다. 5G FR2 적합성 시험의 OTA측정은 안테나 방사패턴 측정, 높은 측정불확도, 측정거리에 따른 챔버 크기, 피시험기기의 거치, 측정구성의 복잡성에 의한 측정시간 및 비용증가 등의 현실적인 수행가능성(Feasibility)에 대한 문제를 야기한다.

3GPP TSG-RAN WG5(이동단말 적합성 시험반)에서는 이러한 기술적인 이슈를 해결하기 위해 다양한 해결책이 논의되고 있다. 본고에서는 RF적합성 시험에서 새롭게 도입된 측정 메트릭과 그에 따른 측정 불확도 및 측정 포인트 등 최신 표준화 동향에 대해서 고찰한다.

II. 5G 단말 적합성 시험

2.1 5G 단말 적합성시험 분야

이동통신 단말의 적합성 시험은 크게 무선(RF), 프로토콜(Protocol) 2가지로 분류되고 여기서 RF는 무

선송수신(TRx), 복조: 채널상태성능(Demod/CSI), 무선자원관리(RRM)로 세분화할 수 있다. 표 1에서는 RAN5 관할의 5G 단말 적합성 시험 규격을 제시하고 있으며 본고에서는 FR2 무선송수신 규격인 38.521-2에 명시된 시험 메트릭에 대해서 다룬다.

TRx는 단말의 출력전력, (변조)신호품질, 불요파 및 스푸리어스 방사(Spectrum Emission, Spurious)등의 송수신기의 전기적 특성의 최소요구사항을 규정한다⁵⁻⁷⁾. Demod/CSI는 다양한 채널(Rural, Urban, Indoor, Macro/Micro cell)환경, 하향물리채널

표 1. RAN5 관할의 5G 적합성 시험 규격
Table 1. 5G Specifications for conformance testing from 3GPP TSG-RAN WG5

Specification (3GPP)	Title	Description
TS 38.508-1	Common test environments for UE conformance testing	공동 시험 환경
TS 38.508-2	Part 2: Common Implementation Conformance Statement (ICS) proforma	PICS (사양선언양식)
TS 38.509	Special conformance testing functions for UE	특별 시험 기능
TS 38.521-1	Radio transmission and reception; Part 1: Range 1 Standalone	무선송수신(RF TRx) - 단독모드(FR1)
TS 38.521-2	Radio transmission and reception; Part 2: Range 2 Standalone	무선송수신(RF TRx) - 단독모드(FR2)
TS 38.521-3	Radio transmission and reception; Part 3: NR interworking between NR range1 + NR range2; and between NR and LTE	무선송수신(RF TRx) - 비단독모드(FR1/2)
TS 38.521-4	Radio transmission and reception; Part 4: Performance requirements;	무선복조 성능 (Demod, CSI)
TS 38.533	Radio Resource Management(RRM)	무선자원관리(RRM)
TS 38.522	Applicability of RF and RRM test cases	시험항목 산출기준 (RF, RRM)
TR 38.903	Derivation of test tolerances for RRM and UE radio reception conformance tests	허용 오차 분석 (RF, RRM)
TR 38.905	Derivation of test points for radio transmission and reception conformance test cases	측정 포인트 분석 (RF 송수신)
TS 38.523-1	Part 1: Protocol conformance specification	프로토콜 시험 (FR1/2)
TS 38.523-2	Part 2: Applicability of protocol test cases	프로토콜 시험항목 적용 범위
TS 34.229	IMS over 5GS protocol test cases	IP 멀티미디어 콜
TS 38.523-3	5GS; UE conformance specification; Part 3: Test Suites	프로토콜 시험모델
TS 37.571-1	5GS positioning test cases	위치 성능(A-GNSS)

(PDSCH, PDCCH, PBCH), 2-4Rx 안테나성능, 채널 상태보고(CQI, CSI, RI)등 시나리오에 따라 주어진 SNR내에서 데이터처리율(Data Throughput)의 성능을 확인한다⁸⁾. RRM은 단말의 이동성 관리의 검증으로 Idle상태에서 수행되는 셀 선택 성능과 RRC 연결 상태(RRC connected)에서 수행되는 핸드오버(HO)성능을 보장하기 위한 무선링크 측정, 패킷손실 관리 등과 같은 요소기술을 측정한다⁹⁾. 마지막으로 프로토콜은 L2(MAC, RLC, PDCP), RRC, MM, SM 등의 계층에서 정해진 시나리오(TTCN)에 따른 패킷의 구조를 확인하고 정해진 메시지(Signalling)를 순차(Sequence)적으로 송수신하는지 측정한다¹⁰⁾.

2.2 5G 단말 적합성 시험 방법의 진화

3GPP RAN5에서 적합성시험 규격제정을 위한 초기 연구단계에서 대원칙은 이미 입증된 기존기술의 시험방법론(Test Methodology)을 재사용한다는 것이었다. 5G는 NR 단독모드(SA, Standalone)와 E-UTRA와 이중 연결되는 비단독모드(NSA, Non-Standalone)로 운용되며 물리계층, 인터페이스, 프로토콜 측면에서 주요 매개변수(시험파라미터)들이 표 2와 같이 LTE를 기반으로 진화되었다. 5G 이전의

표 2. 무선 송수신 주요시험 매개변수
Table 2. Test Parameters for RF TRx

Test Parameter	LTE	NR
Operating Frequency	450 Mhz - 5,925 Mhz	· FR1 : 410 Mhz - 7,125 Mhz · FR2 : 24.25 GHz - 52.6 GHz
Operation Mode	· Single Carrier · Carrier Aggregation - up to 5CC, 100 Mhz (Rel-10) - up to 32CC, 640 Mhz (Rel-13)	· SA (FR1, FR2) · NSA (FR1, FR2) - EN-DC(LTE 5CC - NR 8CC) - NR-CA (FR1 8CC, FR2 8CC) - NR-CA (FR1+FR2 Interworking)
Tested Bandwidth (Mhz)	1.3, 3, 5, 10, 15, 20	· FR1 : 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80, 90, 100 · FR2 : 50, 100, 200, 400
Sub-carrier Spacing	15 KHz	· FR1 : 15, 30, 60 KHz · FR2 : 60, 120 KHz
Modulation	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM	$\pi/2$ -BPSK, BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Waveform	UL : DFT-s-OFDM	UL : CP-OFDM, DFT-s-OFDM

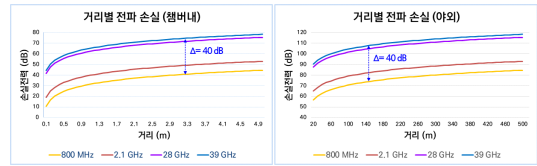


그림 1. 시험환경과 야외환경에서의 주파수대역별 전파손실
Fig. 1. Propagation Loss in the anechoic chamber and outdoor

적합성 시험은 단말의 안테나포트와 측정시스템과 직접 연결(Conducted)을 통한 전도방식으로 수행함으로써 낮은 측정불확도의 재현성과 신뢰성을 확보해 왔으며 FR1의 측정방식도 기존과 동일하게 전도방식 측정법을 그대로 유지한다.

반면 FR2 대역에서의 적합성시험은 수행 가능성(Feasibility)으로 인해 방사(OTA, Over the Air)시험 방법이 핵심적인 방법론으로 논의되기 시작했다. FR2는 20 Gbps 다운링크 속도를 달성하기 위해 단일 요소 반송파(Component Carrier) 최대 400MHz 까지 지원하는 밀리미터 대역(FR2)이 도입되었고 저주파대역에 비해 30~40dB 높은 전파손실을 극복하기 위해 다중입출력(MIMO), 빔포밍(Beam forming)등의 기술이 사용된다. 단말의 프러트엔드는 빔을 집중시키는 안테나어레이를 사용하고 짧은 파장에 적합한 고도로 소형·통합된 형태로 설계될 것이다. 결국 복잡성, 소형화, 비용 및 높은 삽입손실 등으로 인해 직접 연결에 의한 전도성 시험의 구현은 수행가능성 측면에서 현실적이지 않다. 빔형성/응답(Beam Correspondence), 구면 커버리지(Spherical Coverage)와 같이 빔성능을 평가하는 시험항목(Test Case)도 있을 뿐 아니라 시험구성의 현실성, 시험목적 등을 고려하면 적합성시험에서 OTA시험은 유일한 해결책이므로 3GPP에서도 FR2 적합성 시험 전 분야에 걸쳐서 OTA 방사시험을 기준(Baseline)으로 결정하였다³⁾.

NR은 LTE와 비교하여 유연한 Numerology, 추가된 무선접속파형(Waveform), FR2대역의 추가, 다양한 변조세트, 시험대역폭(요소 반송파) 및 부반송파(SCS)의 증가, LTE-NR 이중연결(EN/NE-DC), FR1-FR2 반송파집성(NR-CA)기술에 의한 다양한 밴드조합으로 확장중이며 이로 인해 시험 설계 단계에서 복잡성이 증대되고 있다. RF 적합성 시험항목(Test Case)은 시험구성(Test Configuration)에 명시된 조건에 따라 수행된다. 판정 신뢰도를 유지하면서 시간소요를 줄일 수 있는 시험구성 최적화 작업은 필수적이며 Test Point Analysis 단계를 통해 진행된다¹¹⁾. 표 2에서는 주요 시험매개변수별 시험구성 상세사항을

정리하였다.

2.3 OTA시험을 위한 측정 방법

3GPP는 3가지 형태의 OTA 시험방법인 DFF(Direct Far Field), IFF(Indirect Far Field), NFFF(Near Field to Far field Transform)을 권고하고 있으며^[3] 전반적인 특징은 그림 2에 도식화 하였다.

최근 상용화된 IFF방식의 CATR(Compact Antenna Test Range)은 금속 반사판(Reflector)을 이용하여 원거리 환경을 소형화 시켜주며 Quite Zone내에서 평면파를 보장해주는 콜리메이터 시스템이다. CATR은 EIRP, TRP, EIS, EVM, Spurious emission, Blocking 등 전체 시험 메트릭이 시험가능하고 단말 안테나의 크기/위치(제조사선언)를 알 필요가 없으며 (Black box approach), 소형 챔버라는 장점으로 인해 GCF(유럽)/PTCRB(미국)과 같은 해외 인증단체에서 유효성검증(Validation) 절차등록을 통해 상용화되고 있다.

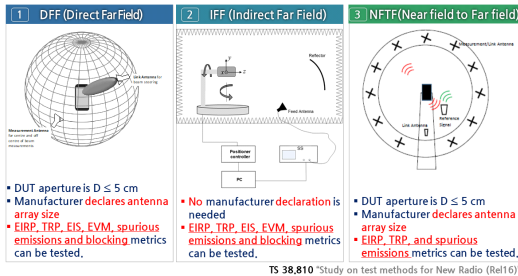


그림 2. RF 적합성 방사시험 방법(직접/간접 원거리, 근원거리변환)
Fig. 2. OTA RF Testing Methodology (DFF, IFF, NFFF)

III. 적합성 시험을 위한 OTA 측정 메트릭

지금까지 OTA 시험은 이동통신단말의 중요한 특성인 안테나 복사(Radiated) 성능과 수신 성능을 확인하기 위한 목적으로 부가적으로 수행하는 시험이었다. 지역의 통신사업자들은 자신의 네트워크 내에서 단말이 얼마나 우수한 방사성능을 가지고 작동하는지 확인하기 위한 목적으로 TRP, EIRP, EIS, Desense 등과 같은 안테나 성능의 시험결과를 요구한다^{[12],[13]}. OTA 시험은 2G에서 LTE까지의 낮은 대역(<6 GHz)에서는 잘 알려진 기술이지만 전파손실이 매우 큰 밀리미터 대역에서 적합성 시험 기술과의 결합이라는 측면에서 생소한 분야이므로 그에 따른 시험 방법론, 시험 구성 및 측정 불확도 등의 여러 기술 규격의 제정이 필

표 3. 5G FR2 무선 송수신 시험항목 및 시험 메트릭
Table 3. 5G RF TRx test cases and metrics in FR2

	Test Case	Test Metric		
Tx	Tx Power	UE Maximum output Power	EIRP	EIRP
			TRP	TRP
			Spherical Coverage	Spherical Coverage
		Maximum Power Reduction	EIRP@Beam Peak	
		Addi. Maximum Power Reduction	EIRP@Beam Peak	
	Output Power Dynamics	Configured Transmitted Power	EIRP@Beam Peak	
		Minimum Output Power	EIRP@Beam Peak	
		Transmit OFF Power	TRP	
		ON/OFF Time Mask	EIRP@Beam Peak	
		Power Control	EIRP@Beam Peak	
Transmit Signal Quality	Frequency Error	EIRP@Beam Peak		
	Error Vector Magnitude	EIRP@Beam Peak		
	Carrier Leakage	EIRP@Beam Peak		
	In-band Emissions	EIRP@Beam Peak		
	Equalizer Spectrum Flatness	EIRP@Beam Peak		
Output RF Spectrum Emission	Occupied Bandwidth	EIRP@Beam Peak		
	Spectrum Emission Mask	TRP		
	Addi. Spectrum Emission Mask	TRP		
	Adjacent Channel Leakage Ratio	TRP		
	Spurious Emissions	TRP		
	Spurious Emission band UE co-exist.	TRP		
	Addi. Spurious Emission	TRP		
Beam	Beam Correspondence - EIRP	EIRP		
Rx	Reference Sensitivity	Ref Sens Power Level	Power Level	EIS, Spherical Coverage
			EIS Sp. Cover	
	Dynamics	Maximum Input Level	EIS@Beam Peak	
	Spectrum	Adjacent Channel Sensitivity	EIS@Beam Peak	
	Blocking	Inband Blocking	EIS@Beam Peak	
	Spectrum	Spurious Emissions	TRP	

요하다.

적합성 시험을 위해 TRP(총복사전력), EIRP(실효등방성복사전력), Spherical Coverage(구면 커버리지) 3개의 Test Metric이 도입되었으며 무선 송수신(RF) 적합성 시험항목별 시험 메트릭은 표 3과 같다. EIS(실효등방성감도)는 적합성 측면에서 보면 Loopback 모드에서 특정 BER(Bit Error Rate)을 만족하는 한계감도로써 송신과는 전혀 다른 시험이지만 시험 메트릭 측면에서 보면 송신의 EIRP와 동일 개념이므로 상세 설명은 생략한다.

표 4에서는 대표적인 RF 시험항목인 최대출력전력(Maximum Output Power) 항목의 최소요구사항

표 4. 최대 출력 전력의 최소요구사항
Table 4. Minimum Conformance Requirements of Test Case maximum Output Power

UE Power Class		EIRP(dBm)		TRP (dBm)	Spherical Coverage
		Max	Min		
1 Fixed Wireless Access	n257	55	40.0	35	32.0 (85%-tile CDF)
	n258	55	40.0	35	32.0 (85%-tile CDF)
	n260	55	38.0	35	30.0 (85%-tile CDF)
	n261	55	40.0	35	32.0 (85%-tile CDF)
2 Vehicular	n257	43	29	23	18.0 (60%-tile CDF)
	n258	43	29	23	18.0 (60%-tile CDF)
	n260	-	-	-	-
	n261	43	29	23	18.0 (60%-tile CDF)
3 Handheld	n257	43	22.4	23	11.5 (50%-tile CDF)
	n258	43	22.4	23	11.5 (50%-tile CDF)
	n260	43	20.6	23	8 (50%-tile CDF)
	n261	43	22.4	23	11.5 (50%-tile CDF)
4 High Power non-handheld	n257	43	34	23	25 (20%-tile CDF)
	n258	43	34	23	25 (20%-tile CDF)
	n260	43	31	23	29 (20%-tile CDF)
	n261	43	34	23	25 (20%-tile CDF)
Test Requirement		-TT	+TT		-TT

(Minimum Conformance Requirement)을 정리하였다. 최소요구사항은 허용오차(TT, Test Tolerance)와 다중대역완화(MB, Multiband Relaxation)가 적용되지 않은 핵심(Core)요구사항이며 최종 관정한계치인 시험요구사항(Test Requirement)은 핵심요구사항에서 TT와 MB값을 적용하여 산출된다.

3.1 빔피크 검색(Beam Peak Direction Search)

측정시스템이 교정되어있다고 할 때, 적합성 시험의 시작에 앞서 최우선으로 수행해야 하는 절차는 단말의 빔피크(Beam Peak)를 찾는 것이다. 빔피크는 3D EIRP 스캔을 통해 얻을 수 있으며 폐곡면의 전 지점에서 측정된 EIRP 값의 최대치가 나오는 지점을 의미한다. 또한 이렇게 측정된 전 지점 EIRP는 누적분포함수(CDF, Cumulative Distribution Function)로 표현되어 구면 커버리지 성능평가 기준으로 재사용될 수 있다. 빔피크 지점 좌표는 EIRP@Beam Peak 메트릭을 사용하는 전체 시험항목에서 재사용되므로 정밀한 검색이 필수적이다. PC3 단말의 경우 7.5° 간격(1106지점)의 단일 그리드 방식(Single Grid Approach)을 기준(Baseline)으로 권고하고 있으며 이 정밀한 측정 간격은 FR2 방사시험의 시험 시간을 증가시키는 주요인이다.

3.2 실효 등방성 복사전력(EIRP)

EIRP(Effective Isotropic Radiated Power)는 단말을 둘러싼 폐곡면의 한 특정지점에서 측정되는 전력으로 안테나의 지향성을 나타내는 성능지표이다. 즉, 단일방향으로 집중 방사되는 주빔(Main Lobe)의 전력세기를 나타내는 것으로 스펙트럼 관련 항목을 제외한 대부분의 시험항목은 Peak EIRP 측정 메트릭을 사용한다. EIRP는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있으며 여기서 EIRP_{p1}, EIRP_{p2} 는 각각 직교편파를 의미한다.

$$EIRP(\theta, \phi, f) = EIRP_{p1}(\theta, \phi, f) + EIRP_{p2}(\theta, \phi, f) \quad (1)$$

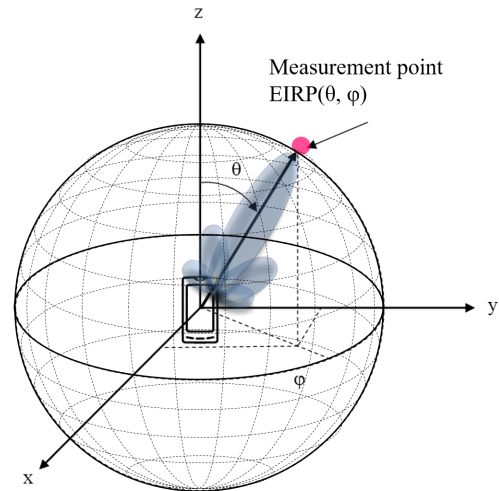


그림 3. 실효 등방성 복사전력의 정의
Fig. 3. Definition of Effective Isotropic Radiated Power

3.3 총 복사전력(TRP)

TRP(Total Radiated Power)는 단말(안테나)로부터 전 방위로 방사되는 전체 전력을 말한다. 지향성과 극성은 고려하지 않은 단말의 폐곡면에서 측정되는 EIRP의 총합으로 θ, ϕ 각도로 식 (2)와 같이 중적분을 통해 구해진다.

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

그림 4와 같이 단말을 둘러싼 가상의 폐곡면을 통과하는 총 복사전력을 의미하며 앙각(Elevation, θ)과 방위각(Azimuth, ϕ)으로 주어진 간격(Grid)에서 측정된 두개의 직교 편파 성분을 더한 값이다. TRP는 공간좌표의 함수이므로 Main Lobe 와 Side Lobe 전체의 세기를 폐곡면의 전체 이산지점에서 측정하며

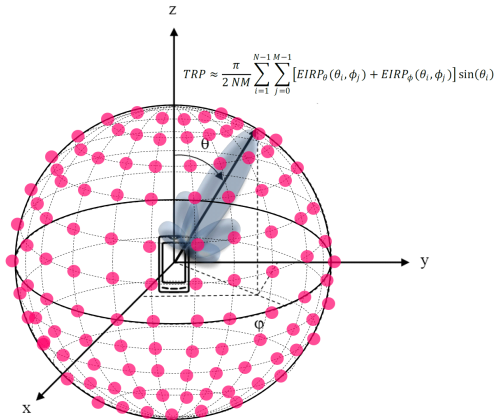


그림 4. 총 복사전력 정의
Fig. 4. Definition of Total Radiated Power

EIRP로부터 TRP를 구하는 식은 식(3)과 같다.

$$TRP \approx \frac{\pi}{2NM} \sum_{n=1}^{N-1} \sum_{m=1}^{M-1} (EIRP_{p1}(\theta_n, \phi_m) + EIRP_{p2}(\theta_n, \phi_m)) \sin(\theta_n) \quad (3)$$

RF 송수신의 주요 규제 항목인 최대출력전력, 불요파 방사 및 스퍼리어스 측정을 위한 새로운 메트릭으로 TRP가 도입되면서 측정시간 증가의 주요인으로 작용한다. EIRP와 TRP는 최대 빔이 고정된 상태로 (UBF, UE Beamlock Function) 측정이 수행된다.

3.4 구면 커버리지(Spherical Coverage)

구면 커버리지는 수신 신호의 무작위성이 높은 이동통신 시스템에서 중요한 성능지표로써 우수한 구면 커버리지는 전체 시스템의 성능 및 네트워크 범위를 향상시키는 핵심적인 성능지표이다. 구면 커버리지는 빔의 측정지점변경(Rotation)시 안테나방향으로 빔 스위칭 된 후 다시 빔이 고정된(UBF) 상태로 측정된다. 구면 커버리지는 단말의 가능한 전체 빔의 3D 스캔을 통해 각 지점에서 최대 EIRP를 측정하여 이를 누적분포함수(CDF, Cumulative Distribution Function)로 나타내며 단말의 종합적인 빔 형성 능력을 시각화한다.

그림 5는 구면커버리지의 개념을 도식화 하였고 실제 CATR 챔버에서 측정된 PC3 스마트폰의 EIRP값을 CDF그래프로 나타내었다. CDF=0%-tile은 Min EIRP를 CDF= 100%-tile은 Max Peak EIRP를 각각 의미한다. 예를 들어 n257대역, PC3 단말의 최대출력전력(Max. Output Power)의 최소요구사항은 표 4와 같이 허용오차를 제하고 11.5 dBm(CDF = 50%-tile)이다. 즉, 전체 구면에서 측정된 EIRP값의 50% 이상은 11.5 dBm을 초과해야 한다. 또한 EIRP측정값의

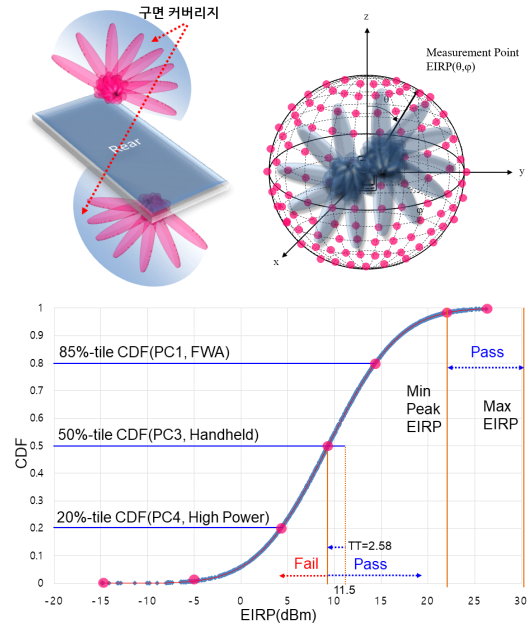


그림 5. 구면 커버리지 개념 및 누적분포함수 그래프
Fig. 5. A Concept of Spherical Coverage and CDF Graph

판정기준은 단말이 최대빔을 형성하는 지점에서 Min Peak EIRP=22.4 dBm ~ Max EIRP=43 dBm 범위에 들어와야 한다. EIRP CDF 50%-tile은 반구(half sphere)에 대한 요구사항만 만족하면 된다는 의미로 해석할 수 있다. 극단적인 경우 그림 6과 같이 특정반

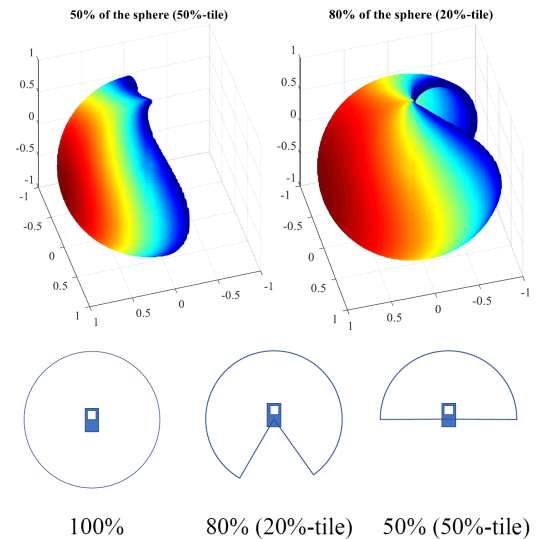


그림 6. 구면 커버리지 요구사항의 개념[14]
Fig. 6. The concept of Spherical Coverage CDF %-tile[14]

구에서 거의 방사가 없는 나쁜 커버리지를 가진 단일 안테나도 요구사항을 만족할 수 있다는 것을 의미한다. CDF 80%-tile은 최소 두개 안테나의 동작을 기반으로 한 요구사항으로 회전이나 손 막힘에 대한 성능이 더 좋음을 의미한다.^[14]

네트워크 설계 시 셀 크기 결정요소는 %-tile 지점이며 30°-180°각도의 다양한 빔으로부터의 전파도달 각에서 빔 추적(Beam tracking)을 위한 무선자원관리(RRM)시험을 위해 1~2개의 안테나 패널 조건에 기반을 두어 CDF = 50%-tile 로 결정되었다^[14-16].

그림 7은 단일 안테나를 탑재한 단말(CDF1)과 2개

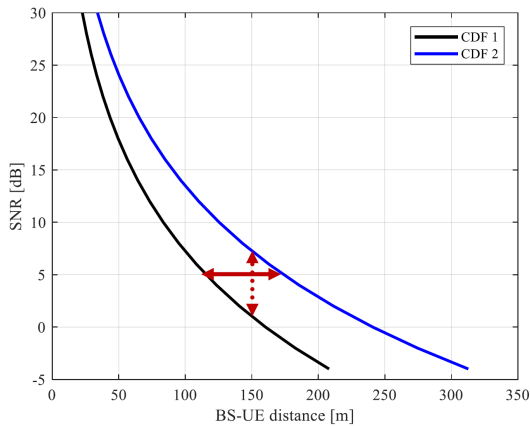


그림 7. 단말-기지국 특정거리에서 신호대잡음비 (20%-tile) [14]
Fig. 7. SNR vs BS-UE distance: 20%-tile value[14]

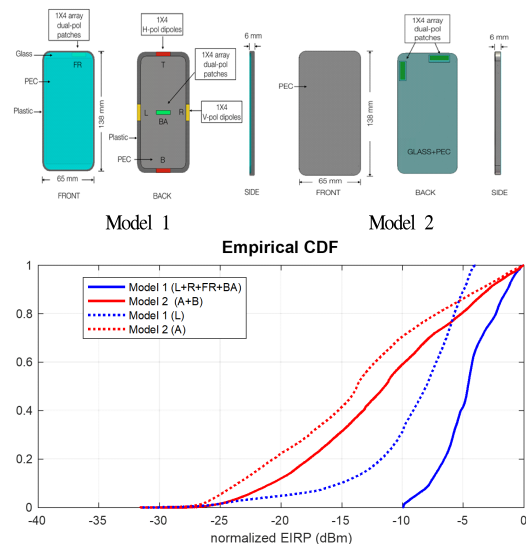


그림 8. 단말의 다양한 폼팩터에 따라 측정된 EIRP 실험결과[17]
Fig. 8. Combined EIRP CDF for Model 1 and 2[17]

의 안테나를 탑재한 단말(CDF2)의 구면커버리지 결과를 시뮬레이션 한 그래프로 특정 단말-기지국 거리 지점에서 더 나은 성능을 보이는 CDF2 곡선이 약 5 dB의 우수한 신호 대 잡음비(SNR)성능을 보여준다^[14].

또한, 그림 8에서 구면 커버리지 성능은 안테나 개수, 안테나 형태, 디스플레이 및 외관의 재질에 따라 차이가 있는데 안테나 수가 많고 플라스틱 재질일수록 우수한 구면 커버리지 성능을 보이는 것이 실험적으로 증명되었다^[17].

IV. 측정불확도 및 허용오차

5G FR2 적합성(OTA)시험의 중요한 기술적 이슈는 높은 측정불확도(MU, Measurement Uncertainty)에 있으며 기존 기술의 시험방법론을 재사용한다는 대원칙은 측정불확도(MU, Measurement Uncertainty)에도 동일하게 적용되었다^[18,19]. 5G FR1의 적합성 시험은 GSM, WCDMA, LTE와 동일한 방법인 단말의 안테나 포트로부터 측정시스템과의 직접 연결을 통해 수행함으로써 측정의 재현성과 신뢰도를 안정적으로 유지할 수 있었으나 이에 반해 FR2의 OTA시험방식에서 야기되는 높은 측정불확도는 시험결과의 합부판정에 유의미한 영향을 미치는 핵심 요인이 되었다.

적합성 시험요구사항(Test Requirement)은 핵심요구사항(Minimum Conformance Requirement)에서 허용오차(TT, Test Tolerance)를 완화시킨 최종값으로 도출된다^[5-9]. 여기서 프로토콜 시험은 성능시험이 아닌 메시지요소의 내용 및 단말 행동(Behavior)의 Sequence를 체크하는 시험이므로 측정불확도가 정의되지 않는다. 허용오차는 측정불확도를 기반으로 산출되며 측정불확도보다 큰 값으로 설정하지 않는다(TT < MU). 예를 들어 LTE (Conducted)시험의 경우에는 MU=TT를 그대로 적용해왔다^[20]. FR1에서의 허용오차는 채널대역폭(20-100MHz)과 운용주파수대역(3GHz, 4.2GHz, 6GHz)에 따라 시험항목별로 0.7~1.8 dB 수준으로 판정오류에 큰 영향을 미치지 않는다. FR1의 시험항목별 허용오차는 MU=TT 혹은 10%의 거짓실패(False Failure) 확률을 가지는 지점에서 확정된다. 그러나 FR2의 MU는 평균적으로 5~6dB에 달할 정도로 크며 이는 측정된 전력 값의 최대 4배에 이르며 이는 곧 판정 오류로 이어질 수 있는 유의미한 수치이다.

그림 9는 시험 방법별로 MU와 TT를 도출하여 최소요구사항에서 적합성 요구사항을 도출하는 과정을 보여준다^[3]. 그림에 명시된바와 같이 최종 적합성시험 요구사항을 결정짓기 위해서 허용오차(TT)를 산출해

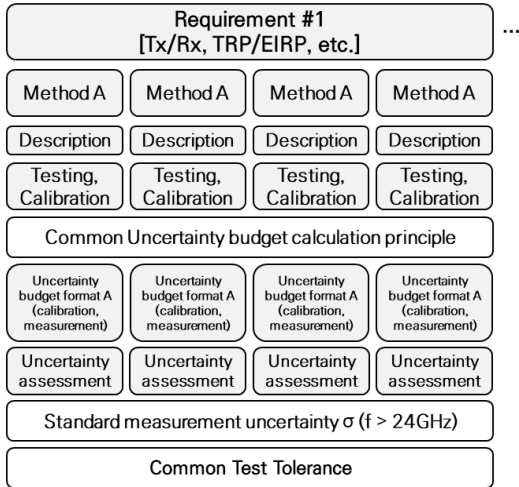


그림 9. 시험 방법에 따른 핵심요구사항과 적합성 요구사항 도출[3]
 Fig. 9. Test Mapping of Core Requirements to conformance requirements[3]

야 하고 TT를 구하기 위해서 먼저 측정불확도(MU)를 구해야 한다.

RAN5 82차('19.2) 정기회의에서 FR2 적합성 시험에 대해 산업계의 시급성이 대두되었고 규격 제정 지연의 주원인으로 MU/TT의 미확정으로 인한 최종판정 한계치인 Test Requirement 가 정의되지 않아서였다. MU/TT는 통신사업자와 기기제조사간의 이해관계가 맞물리는 분야지만 장기적 관점에서 모든 당사자가 동의할 수 있는 합리적인 결과를 도출하지는 원칙하에 MU/TT특별반(TF)을 운영하여 전체시험항목(Every test case)에 대해서 상세한 MU/TT를 수립해 가는 것으로 합의되었다. 합의사항으로는 MU/TT 최적화는 ISO/IEC Guide 98-3:2008 “Guide to Expression of Uncertainty in Measurement”를 준수하고 RF/RRM/Demod에 대한 측정불확도(MU)는 최대 시험시스템 불확도(MTSU, Maximum Test System Uncertainty)와 동일하며, MU최적화를 위한(SI, Study Item)을 도입하고, 개선된 FR2 MU의 결과는 릴리즈 관계없이 공통 적용되며(Release independent), 시행일은 산업계의 요구에 의해 결정된다는 것이다^[21].

4.1 측정불확도 요인

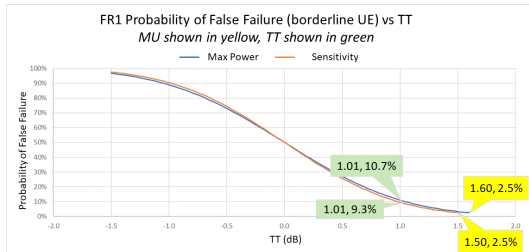
불확도를 유발시키는 여러 요인들이 있지만 대표적으로 교정측정, 피시험기측정 및 측정시스템이 있다. RAN4에서는 교정측정 및 피시험기측정 요인만을 고려하여 시험방법(DFE, IFF, NTF) 및 시험 매트릭

UID	Uncertainty source	Uncertainty value	Distribution of the probability	Divisor	Standard uncertainty (σ) [dB]
Stage 2: DUT measurement					
1	Positioning misalignment	0.10	Normal	2.00	0.05
2	Quality of Quiet Zone (NOTE 1)	1.50	Actual	1.00	[1.50]
3	Standing wave between DUT and measurement antenna	0.00	U-shaped	1.41	0.00
4	Mismatch (NOTE 2)	1.30	Actual	1.00	[1.30]
5	Insertion loss variation of receiver chain	0.10	Rectangular	1.73	0.06
6	RF leakage (from measurement antenna to receiver)	0.10	Actual	1.00	0.10
7	Uncertainty of the RF power measurement equipment (NOTE 3)	2.16	Normal	2.00	[1.08]
8	Amplifier Uncertainties	2.00	Normal	2.00	1.00
9	Random Uncertainty	0.40	Rectangular	1.73	0.23
10	Influence of the XPD	0.68	U-shaped	1.41	0.48
Stage 1: Calibration measurement					
11	Mismatch RX chain	0.00	U-shaped	1.41	0.00
12	Misalignment positioning system	0.00	Normal	2.00	0.00
13	Quality of the Quiet Zone for the calibration process (NOTE 1)	1.50	Actual	1.00	[1.50]
14	Amplifier Uncertainties	0.00	Normal	2.00	0.00
15	Uncertainty of network analyzer	0.40	Normal	2.00	0.20
16	Insertion As loss variation of receiver chain	0.00	Rectangular	1.73	0.00
17	Mismatch in the connection of calibration antenna	0.07	U-shaped	1.41	0.05
18	Uncertainty of the absolute gain of the calibration antenna	1.60	Normal	2.00	[0.8]
19	Influence of the calibration antenna feed cable: Flexing cables, adapters, attenuators, connector repeatability	0.00	Normal	2.00	0.00
20	RF leakage (from measurement antenna to receiver)	0.10	Actual	1.00	0.10
21	Positioning and pointing misalignment between the reference antenna and the receiving antenna	0.10	Normal	2.00	0.05
22	Standing wave between reference calibration antenna and measurement antenna	0.00	U-shaped	1.41	0.00
EIRP Expanded uncertainty (1.96σ - confidence interval of 95 %) [dB]					[5.99]
TRP Expanded uncertainty (1.96σ - confidence interval of 95 %) [dB]					[5.13]

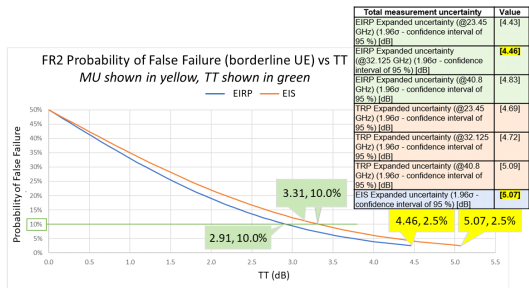
그림 10. IFF 방식의 EIRP/TRP 측정불확도 요인[3]
 Fig. 10. IFF method measurement uncertainty for EIRP and TRP measurement[3]

(TRP, EIRP, EIS, Spherical Coverage)별로 측정불확도 기준을 제시하고 있다. 그림 10에서는 CATR(IFF) 방법에서 EIRP/TRP의 공통 측정불확도 요인을 분석하였다^[3]. 주요 불확도 요인으로는 피시험기기(EUT) 측정 시 유발되는 QZ(Quite Zone)의 품질, 시스템 경로 mismatch, 증폭기 불확도 등이 있으며 교정(Calibration)측정 시 발생하는 QZ품질 및 교정안테나 불확도 등으로 신뢰구간 95%에서 EIRP/TRP는 각각 5.99/5.13 dB의 높은 불확도가 산출되었고 최종확정은 되지 않은 상태이다. LTE나 5G FR1(0.7~1.8dB)에 비해 약 5dB의 높은 측정불확도는 Pass/Fail 판정 한계 지점에서 큰 완화(Relaxation)를 허용하게 되므로 판정 오류 확률이 높아지므로 통신사업자와 제조사 모두에게 적합하지 않다. RAN5 81차('18.11) 정기회의에서 통신사는 허용오차 제거(TT=0)를 비공식적으로 제안하였지만 완화(TT)가 없을 경우 단말이 측정불확도를 흡수할 여유가 없고 판정 오류가 발생할 수 있으므로 단말 칩셋 제조사들은 동의하지 않았다^[22].

그림 11은 FR1/2 단말에서 TT값에 따른 거짓실패(False Failure) 판정 확률을 나타낸다. 가로축의 TT=0인 경우, Pass/Fail 경계지점에 있는 단말의 거짓



(a) FR1



(b) FR2

그림 11. 허용오차에 따른 거짓실패 판정 확률(FR1, FR2)[22]
Fig. 11. Probability of false failure vs Test Tolerance in FR1, FR2[22]

실패 판정 확률이 50%지만 TT=1dB로 완화하였을 때 거짓실패 판정 확률은 10% 수준으로 줄어들게 됨을 확인할 수 있다. FR2(b)에서 MU=TT일 때(노란색)의 거짓실패 판정확률 2.5% 지점에서 EIRP/EIS 불확도는 각각 4.46/5.07 dB이고 이를 FR1과 동일한 10% 확률로 완화(연두색)할 경우 허용오차가 3.31/2.91 dB로 줄어들게 됨을 확인할 수 있다. 이 합[22]을 기반으로 시험항목의 최종 허용오차는 측정불확도의 50~65%(TT=0.5/0.6/0.65×MU) 으로 정의되었다[6].

RAN5에서는 정확한 측정불확도 산출을 위해 불확도의 원인, 값, 확률분포, 분포형태에 따른 제수(Divisor)를 구하여 개별시험항목(Test Case), Test Metric 및 단말의 Power Class별로 개별적인 MU/TT를 반영하여 적합성요구사항(Test Requirement)을 정의하게 된다.

개별시험항목의 최종 MU/TT는 그림 12의 공통 허용오차를 바탕으로 측정 시 야기되는 시스템 불확도 및 시험구성을 고려하여 산출한다. 그림 13에서는 PC3 단말의 경우, 최대출력전력(Max Output Power) 시험항목의 EIRP/TRP 측정불확도는 4.42~5.09 dB이며 최종 허용오차는 0 또는 2.65~2.87 dB으로 도출되었다[6].

UID	Uncertainty source	Uncertainty value	Distribution of the probability	Divisor	Standard uncertainty (σ) [dB]
Stage 2: DUT measurement					
1	Positioning misalignment	0.00	Normal	2.00	0.00
2	Measure distance uncertainty	0.00	Rectangular	1.73	0.00
3	Quality of Quiet Zone (NOTE 1)	0.6	Actual	1.00	0.6
4	Mismatch	1.30	Actual	1.00	1.30
5	Standing wave between the DUT and measurement antenna	0.00	U-shaped	1.41	0.00
6	Uncertainty of the RF power measurement equipment (NOTE 3)	2.16	Normal	2.00	1.08
7	Phase curvature	0.00	U-shaped	1.41	0.00
8	Amplifier uncertainties	2.10	Normal	2.00	1.05
9	Random uncertainty	0.50	Normal	2.00	0.25
10	Influence of the XPD	0.01	U-shaped	1.41	0.00
11	Insertion Loss Variation	0.00	Rectangular	1.73	0.00
12	RF leakage (from measurement antenna to the receiver/transmitter)	0.00	Actual	1.00	0.00
13	Influence of TRP measurement grid	0.25	Actual	1	0.25
14	Influence of beam peak search grid	0.00	Actual	1	0.00
15	Multiple measurement antenna uncertainty (NOTE 9)	0.15	Actual	1	0.15
16	DUT repositioning	0.00 (TRP) 0.08 (EIRP)	Rectangular	1.73	0.00 (TRP) 0.05 (EIRP)
Stage 1: Calibration measurement					
17	Mismatch	0.00	U-shaped	1.41	0.00
18	Amplifier Uncertainties	0.00	Normal	2.00	0.00
19	Misalignment of positioning System	0.00	Normal	2.00	0.00
20	Uncertainty of the Network Analyzer	0.73	Normal	2.00	0.37
21	Uncertainty of the absolute gain of the calibration antenna	0.60	Normal	2.00	0.30
22	Positioning and pointing misalignment between the reference antenna and the measurement antenna	0.01	Rectangular	1.73	0.00
23	Phase centre offset of calibration antenna	0.00	Rectangular	1.73	0.00
24	Quality of quiet zone for calibration process	0.4	Actual	1.00	0.4
25	Standing wave between reference calibration antenna and measurement antenna	0.00	U-shaped	1.41	0.00
26	Influence of the calibration antenna feed cable	0.14	Normal	2.00	0.07
27	Insertion Loss Variation	0.00	Rectangular	1.73	0.00
Systematic uncertainties (NOTE 6)					
28	Systematic error due to TRP calculation/quadrature (NOTE 4)				Value
29	Influence of noise (23.45GHz <= f <= 32.125GHz)				0.1
29	Influence of noise (32.125GHz < f <= 40.8GHz)				0.3
30	Systematic error related to beam peak search (NOTE 5)				0.5
Total measurement uncertainty					
					Value
EIRP Expanded uncertainty (23.45GHz <= f <= 32.125GHz) (1.96σ - confidence interval of 95 %) [dB]					4.48
EIRP Expanded uncertainty (32.125GHz < f <= 40.8GHz) (1.96σ - confidence interval of 95 %) [dB]					5.09
TRP Expanded uncertainty (23.45GHz <= f <= 32.125GHz) (1.96σ - confidence interval of 95 %) [dB]					4.42
TRP Expanded uncertainty (32.125GHz < f <= 40.8GHz) (1.96σ - confidence interval of 95 %) [dB]					4.62

그림 12. PC3단말의 최대출력항목의 EIRP/TRP 측정불확도 (반송주파수 23.45, 32.125, 40.8 GHz, QZ ≤ 30 cm)[23]
Fig. 12. Uncertainty assessment for EIRP and TRP measurement of Max Output Power (f=23.45GHz, 32.125GHz, 40.8GHz, Quiet Zone size ≤ 30 cm) for PC3 UEs[23]

Sub clause	Maximum Test System Uncertainty	Derivation of MTSU
6.2.1.1 UE maximum output power (EIRP)	PC3 Minimum peak EIRP, Max EIRP Quiet Zone size ≤ 30 cm ±4.89 dB (FR2a) ±5.09 dB (FR2b)	MTSU = 1.00 x MU (from Table B.3-2-2 in TR 38.903)
6.2.1.1 UE maximum output power (TRP)	PC3 Max TRP Quiet Zone size ≤ 30 cm ±4.42 dB (FR2a) ±4.62 dB (FR2b)	MTSU = 1.00 x MU (from Table B.3-2-2 in TR 38.903)
6.2.1.2 UE maximum output power (Spherical coverage)	PC3 Quiet Zone size ≤ 30 cm ±4.60 dB (FR2a) ±5.20 dB (FR2b)	MTSU = 1.00 x MU (from Table B.3-2-4 in TR 38.903)
Sub clause	Test Tolerance (TT)	Formula for test requirement
6.2.1.1 UE maximum output power (EIRP)	PC3 Minimum peak EIRP IFF (Quiet Zone size ≤ 30 cm) 2.87 dB (FR2a) 2.87 dB (FR2b) Max EIRP 0 dB	TT = 0.60 x (MTSU _{IFF} - 0.1) (FR2a) TT = 0.60 x (MTSU _{IFF} - 0.3) (FR2b)
6.2.1.1 UE maximum output power (TRP)	PC3 Max TRP IFF (Quiet Zone size ≤ 30 cm) 2.65 dB (FR2a) 2.77 dB (FR2b)	Max TRP TT = 0.60 x MTSU _{IFF}
6.2.1.2 UE maximum output power (Spherical coverage)	PC3 IFF (Quiet Zone size ≤ 30 cm) 2.58 dB (FR2a) 2.58 dB (FR2b)	PC3 TT = 0.60 x (MTSU _{IFF} - 0.3) (FR2a) TT = 0.60 x (MTSU _{IFF} - 0.9) (FR2b)

그림 13. 최대출력전력 항목의 최종 측정불확도 및 허용오차[6]
Fig. 13. Measurement Uncertainty and Test Tolerance for Max Output Power[6]

4.2 측정간격(Measurement Grid)의 종류

시험구성의 설계에서 측정불확도 감소는 판정 신뢰성 측면에서 주 관심사다. 통계적으로 측정 간격이 정밀할수록 측정불확도는 감소하는 반면 시험시간은 급격히 증가하게 되어 측정불확도와 측정 포인트(시험시간)는 시험 설계 단계에서 최적화가 필수적이다. 최소 측정지점 간격의 기준이 되는 측정 포인트 간격(Grid)은 일정 스텝크기 그리드(Constant Step Size Grid)와 일정 밀도 그리드(Constant Density Grid) 두 가지가 있다^[3].

간격이 불균일한 일정 스텝 그리드에 대비하여 일정 밀도 그리드는 약 72~75%의 측정지점만으로 유사한 표준편차/측정오차의 결과를 얻을 수 있다. 반면 일정밀도그리드는 거치대(Positioner)의 지그재그 회전으로 인한 시간소요와 구성의 복잡성 문제로 현재 상용 장비는 일정 스텝 그리드를 사용하고 있다. RAN4에서는 불확도와 측정 포인트(시험시간)간의 최적화를 위해 시험 메트릭별로 측정 간격(Grid)을 달리 하여 많은 시뮬레이션 결과를 수집하였고 실용적인 절충안이 되는 최소 측정 간격 결과를 도출하였다^[3]. 표 5에서는 RAN4의 권고안을 바탕으로 RAN5에서 최종 결정된 Test Metric별 최소 기준(baseline)이 되는 그리드 타입과 측정 그리드를 정리하였으며 개별 시험항목별로 따로 언급이 없는 한 공통적으로 사용해야 하는 그리드 기준이다.

Beam Peak 검색 측정의 경우 단일(미세) 그리드 방식을 Baseline으로 권고하고 있으나 1106지점(7.5°)에서 EIRP를 측정해야 하므로 시험에 많은 시간이 소요되어 실용적이지 못하다. 그 대안으로 초기 넓은

표 5. 측정 메트릭별 측정 그리드 최소 기준
Table 5. Measurement Grid Requirements for test metrics

Test Metric	Type of Grid	Standard Deviations	Measurement Grid Decision
Beam Peak search	Constant Step size	< 0.2 dB	1106 (7.5°)
	Constant Density	< 0.2 dB	800
Spherical Coverage	Constant Step size	< 0.12 dB	266 (15°)
	Constant Density	< 0.11 dB	200
TRP	Constant Step size	< 0.2~0.25 dB	228 (12°×19°) - Clenshaw Curtis - sin(theta) weights
	Constant Density	< 0.23 dB	135 - Charged particle

(Coarse) 검색에 이어 후속 정밀(Fine) 검색을 수행하는 개념으로 그리드 지점 수를 크게 줄일 수 있는 최적화된 접근 방식을 허용하고 있다. 그림 15는 Coarse-Fine 방식의 원리를 설명한다. 설명의 편리함을 위해 2D평면에서 6개 빔을 가정하면 초기 Coarse 샘플링으로 약 36개의 지점에서 1차 측정하여 소요시간을 절약한다. 이 후 측정지점과 측정 안테나 방향의 미세한 불일치로 인해 실제 Beam Peak인 적색 빔이 정확히 검출되지 않았으나 후속 Fine 샘플링으로 인

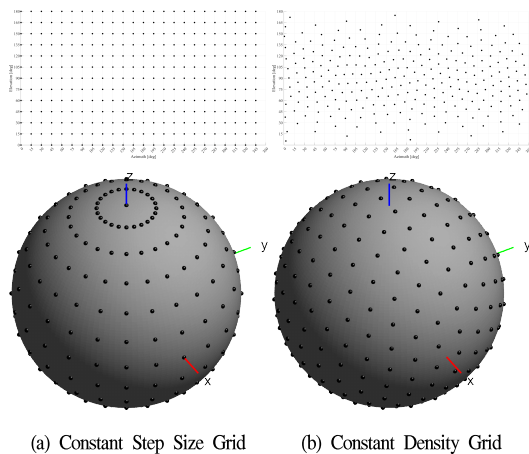


그림 14. 측정 그리드 타입^[3]
Fig. 14. Measurement Grid Types^[3]

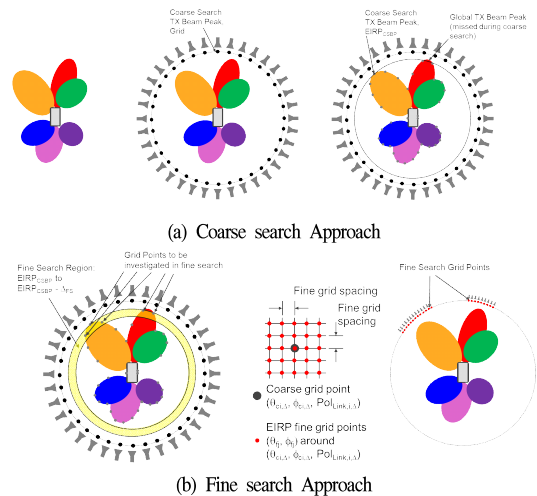


그림 15. Coarse-Fine 빔피크 검색 그리드^[6]
Fig. 15. Coarse and Fine Beam Peak Search Grid^[6]

표 6. 스푸리어스 방사 측정의 TRP 그리드 요구사항
Table 6. TRP measurement grid requirement for spurious emission measurements

Level of Grid	Grid Type	Standard Deviation	Systemic Error	Grid Point
Coarse	Constant Step size	N/A	N/A	35
	Constant Density	N/A	N/A	62 ($\Delta\theta=\Delta\phi=30^\circ$)
Fine	Constant Step size	0.32 dB	0 dB	135
	Constant Density	0.31 dB	0 dB	266 ($\Delta\theta=\Delta\phi=15^\circ$)

해 실제 빔피크를 정확히 검출하게 된다. 이 원리를 3D로 확장하면 Baseline인 단일(미세) 그리드방식 1106지점(7.5°)에 비해서 Coarse샘플링(15°)인 266지점에 이어 Fine샘플링(7.5°)으로 구면의 1/8 구역(138지점) 혹은 2개의 1/8구역(276지점)을 측정하여도 약 2~4 배의 시간 절감을 가질 수 있음을 알 수 있다. 스푸리어스 방사(Spurious Emission)시험항목의 경우 TRP 매트릭 시험으로 단일 그리드가 아닌 Coarse-Fine 방식의 시험 방법을 구체적으로 명시하고 있으며 표 6의 기준을 만족해야 한다.

V. 결론

5G FR2(밀리미터대역)에서는 단말의 적합성 시험 전 분야에서 OTA(방사)시험이 기준시험방법(Baseline)으로 결정되었다. 방사환경과 적합성 시험의 융합은 최초로 시도되는 분야로 측정불확도 증가, 단말과 측정안테나의 거리 및 거치, 측정시간 증가, 구성의 복잡성 외에도 수행가능성(Feasibility)측면에서 다양한 기술적 이슈를 가지고 있다.

본고에서는 OTA(방사)를 이용한 적합성시험 표준과 Rel-16 에서 논의 중인 적합성 OTA 시험을 위한 Test Metric인 Beam Peak Search, EIRP, TRP, Spherical Coverage에 대한 3GPP 국제표준동향을 기술하였다. 또한 핵심(Minimum Conformance Requirement)요구사항에서 최종요구사항(Test Requirement)의 완성단계에 필요한 Test Metric별 측정불확도 요인과 허용오차 및 측정 그리드에 대해서 분석하였다.

본 연구의 목적은 5G 적합성 시험분야의 국제표준에서 최우선으로 다루고 있는 기술적 이슈와 도입 배경 그리고 해결과정을 보다 상세히 고찰하는데 있

다. 또한 5G 시험에 필요한 전체 규격, 시험매개변수, 시험항목별 매트릭 등을 포괄적으로 제시함으로써 전체 구조를 파악하고 향후의 최적화된 시험플랜 설계를 위한 기초자료로 활용하고자 하였다. 통신사업자의 5G 상용화 진행정도에 따라 수천 여개의 NR-LTE 밴드조합이 운용될 예정이고 이미 8만 여개에 이르는 Legacy 기술의 필수시험항목(Test Case)에 더해져 수십만 개에 이를 것으로 전망된다. 결국 이런 방대한 시험플랜은 제조사에게 상당한 시간과 비용 부담을 가중시키게 되고 플랜의 간소화가 필수적인 사안이 될 것이다. 5G FR2의 OTA 적합성 시험 규격을 설계함에 있어서 최우선적인 기술적 목표는 시험구성의 최적화 즉, 판정 신뢰도를 훼손하지 않으면서 동시에 소요시간을 줄일 수 있도록 시험매개변수, 시험 포인트, 측정 그리드 등의 구성요소에 대한 타당한 분석을 기반으로 설계하는 것이다.

향후 연구방향으로는 SA(FR1,2) 및 NSA(EN-DC), 주파수집성(NR-DC/CA), 상향 다중입출력(UL-MIMO)등의 기술진화에 따른 시험 구성의 복잡성을 간소화시켜 적합성시험을 위한 시험플랜 최적화 산출 알고리즘을 설계 및 구현하는데 있다.

References

- [1] IMT Vision, "Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond," Recommendation ITU-R M.2083-0, 2015.
- [2] 국립전파연구원고시 제2018-20호, "전기통신사업용 무선설비의 기술기준," 2018년 10월.
- [3] NR; Study on test methods, 3GPP TR 38.810, V16.5.0, 2019.
- [4] New work item proposal: UE Conformance Test Aspects - 5G/NR, R5-172267, 3GPP TSG-RAN WG5#75, Hangzhou, China, May 2017.
- [5] NR; User Equipment (UE) conformance specification; Radio transmission and reception; Part 1: Range 1 standalone, 3GPP TS 38.521-1, V16.4.0, 2020.
- [6] NR; User Equipment (UE) conformance specification; Radio transmission and reception; Part 2: Range 2 standalone, 3GPP TS 38.521-2, V16.4.0, 2020.
- [7] NR; User Equipment (UE) conformance specification; Radio transmission and

reception; Part 3: Range 1 and Range 2 Interworking operation with other radios, 3GPP TS 38.521-3, V16.4.0, 2020.

[8] NR; User Equipment (UE) conformance specification; Radio transmission and reception; Part 4: Performance requirement, 3GPP TS 38.521-4, V16.4.0, 2020.

[9] NR; User Equipment (UE) conformance specification; Radio Resource Management (RRM), 3GPP TS 38.533, V16.4.0, 2020

[10] 5GS; User Equipment (UE) conformance specification; Part 1: Protocol, 3GPP TS 38.523-1, V16.4.0, 2020.

[11] NR; Derivation of test points for radio transmission and reception User Equipment (UE) conformance test cases, 3GPP TR 38.905, V16.4.0, 2020.

[12] LTE-OTA - Antenna Performance, GCF-PI-007, Performance Item Description, V3.3.0, Feb 2019.

[13] Method of Measurement for Radiated RF Power and Receiver Performance, CTIA Test Plan for Wireless Device Over-the-Air Performance, V3.8.2, Apr. 2019.

[14] Why spherical coverage matters, R4-1807658, 3GPP TSG-RAN WG4 #88, Busan, KR, May 2018.

[15] WF for spherical coverage for FR2, R4-1808198, 3GPP TSG-RAN WG4 #87, Busan, KR, May 2018.

[16] Proposals for concluding the spherical coverage requirement for FR2 handheld UEs, R4-1808173, 3GPP TSG-RAN WG4 #87, Busan, KR, May 2018.

[17] Consideration of EIRP spherical coverage requirement, R4-1713850, 3GPP TSG-RAN WG4 #85, Reno, US, Nov 2017.

[18] On Measurement Uncertainty for FRI, R5-181692, 3GPP TSG-RAN WG5 #78, Athens, Gr, Feb. 2018.

[19] On Sub-6 NR TRx MU justification and way forwards, R5-180983, 3GPP TSG-RAN WG5 #78, Athens, GR, Feb. 2018.

[20] E-UTRA; User Equipment (UE) conformance specification; Radio transmission and

reception; Part 1: Conformance Testing, 3GPP TS 36.521-1, V16.5.0, 2020.

[21] WF on Maximum Test System Uncertainty Evolution for FR2, R5-192820, 3GPP TSG-RAN WG5 #82, Athens, GR, Feb. 2019.

[22] Discussion on FR2 Test Tolerance values, R5-187568, 3GPP TSG-RAN WG5 #81, Spokane, US, Nov. 2018.

[23] NR; Derivation of test tolerances and measurement uncertainty for User Equipment (UE) conformance test cases, 3GPP TS 38.903, V16.4.0, 2020.

곽 필 근 (Phil-keun Kwak)



2002년 2월 : 아주대학교 전자공학부 학사

2011년 2월 : 아주대학교 정보전자공학과 석사

2002년 10월~2005년 10월 : LG전자 MC연구소 연구원

2005년 11월~현재 : 한국산업기술평가원 책임연구원

<관심분야> 이동통신, 적합성시험, 시험플랜 시스템 설계

[ORCID:0000-0002-3028-4927]

김 민 수 (Min-su Kim)



2009년 2월 : 포항공과대학교 컴퓨터공학과 학사

2011년 01월~2013년 12월 : KT IT전략본부

2014년 01월~현재 : 한국산업기술평가원 주임연구원

<관심분야> 이동통신, 적합성시험, 시험플랜 시스템

[ORCID:0000-0002-5981-5349]

송 태 승 (Tae-seung Song)



1997년 2월 : 충남대학교 전자
공학과 학사

1999년 2월 : 충남대학교 전자
공학과 석사

2009년 2월 : 충남대학교 전자
공학과 박사

2000년 5월~현재 : 한국산업기

술시험원 센터장/수석연구원

<관심분야> 이동통신, 전자파적합성, EMP

[ORCID:0000-0002-3357-4030]