

KCA-연구 2018

5G OTA 측정방법 신뢰성 검증 및 표준화 연구

(최종 보고서)

2019. 2.

한국방송통신전파진흥원

연구수행기관 : 한국전자과학회

이 보고서는 한국방송통신전파진흥원의 출연에
의한 재정지원으로 이루어졌습니다.

제 출 문

한국방송통신전파진흥원 원장 귀하

본 보고서를 『5G OTA 측정방법 신뢰성 검증 및 표준화 연구』의 최종보고서로 제출합니다.

2019. 2.

연구기관 : 한국전자과학회

연구책임자 : 장 병 준

요 약 문

1. 제목

「5G OTA 측정방법 신뢰성 검증 및 표준화 연구」

2. 연구개발 목적 및 중요성

우리나라에서 5G 이동통신은 2018년 시범서비스(평창) 이후 2018년 말 조기 상용화되었다. 5G 이동통신은 국제표준화기구인 ITU-R의 국제표준화를 위해 사실표준단체인 3GPP를 중심으로 서비스, 코어 네트워크, 무선접속기술 등 다양한 표준이 완성되었다. 이에 따라 삼성전자, 에릭슨, 노키아, 하웨이 등 선진업체를 중심으로 기지국 장비가 개발되었거나 완성단계에 있고, 2018년 동글에 의한 5G 서비스 상용화에 이어 2019년에 5G 전용 단말이 출시되면 5G 서비스가 폭발적으로 확대될 것으로 기대되고 있다.

5G 이동통신의 본격적인 상용화를 대비하기 위해서는 기술개발, 표준화, 서비스 개발 등 다양한 측면에서 철저한 준비가 필요하며, 이러한 노력의 일환으로 무선국검사 측면에서도 5G 이동통신을 살펴볼 필요가 있다. 특히, 5G NR 시스템의 경우 기존의 2GHz 이하의 이동통신 시스템에 비해 주파수가 높은 3.5GHz와 28GHz를 사용할 뿐만 아니라 Massive MIMO 기반의 빔포밍 기술이 사용되고 있기 때문에 무선국검사 시 많은 어려움이 예상된다. 특히, 높은 주파수와 안테나 일체형 구조로 인해 측정단자 삽입이 어려워 직접 측정 방식의 기존 무선국 검사를 바로 적용하기 어렵다. 이에 3GPP에서도 밀리미터파 대역의 5G NR과 6GHz 이하의 능동안테나

시스템을 사용하는 기지국에 대해 OTA 방식으로 기지국 성능을 검사할 수 있도록 3GPP TS 38.141-2로 표준화 작업이 완성되었다.

이렇게 5G 시대의 도래에 따라 전파이용 환경은 급변하고 있으나 무선국검사의 목적, 검사항목 및 검사방법 등은 관련 제도 도입 이후 큰 변화가 없었다. 따라서 5G 시대에 적합한 OTA 무선국검사 방식에 대한 신뢰성 확보를 위해 본 과제를 수행하게 되었다.

5G 시대에 적합한 무선국 검사의 하나로 독일의 FNA에서 진행하는 OTA 기반의 무선국 현장검사를 참고할 필요가 있다. 독일의 FNA에서는 사업자에게 검사일정을 통보하지 않고 불시에 측정대상 무선국을 검사하는데 이때 자유공간에서 EIRP 측정을 통한 기지국검사를 진행한다. 이를 통해 기지국 허가 시 제출한 안테나 형식, 무선국 위치, 출력 등과 실제가 다른 경우 벌금을 부가하며, 시정조치를 내리도록 되어 있다. 따라서 직결측정이 어려운 국내 5G OTA 무선국검사의 타산지석으로 삼을 필요가 있다. 하지만 아직 빔포밍 및 TDD 환경 하에서 OTA 측정이 실질적으로 가능한지 기술적인 확인이 필요한 상태이다.

이에 본 연구에서는 향후 도래할 5G 이동통신에 대비한 5G OTA 측정방법을 연구하고자 한다. 본 연구는 2017년 KCA 위탁 과제 “5G 이동통신 서비스 도입을 위한 무선설비 측정방법 연구(KCA-연구 2017-11)” 과제를 개선하여 2018년 이후 5G 표준화 동향 및 정책 조사 분석, 5G OTA 측정방법과 절차 정립 및 필요 시 새로운 측정항목 제안을 목표로 하였다.

3. 연구개발의 목표

□ “5G 이동통신을 위한 5G OTA 측정방법 신뢰성 검증 및 표준화 연구”

- 5G 표준화 동향 및 정책 조사·분석
- 5G OTA 측정방법과 절차 정립 및 표준화
- 전파품질 관리를 위한 측정항목 제안

이를 위해

4. 연구의 내용 및 범위

□ 1차(2017년도)연구 이후 5G 표준화 동향 및 정책 조사·분석

- 5G 표준화 추진 현황 조사·분석
 - 3GPP 표준화 동향 분석
 - 5G OTA 측정 표준인 TS 38.104, TS 38.141-2 표준 분석을 통해서 국내 5G 기지국 측정 표준 방향 설정
 - RRA의 5G 무선국검사 관련 기술기준 현황 및 결과 연동
- 5G 주요 선도국 정책 및 기술 동향 (한국, 미국, 영국, 일본, 중국 등)
 - 2017년 11월 3GPP 표준 TS 38.104 Version 0.4.0 이후 각국의 기술기준 적용 동향 조사·분석
 - 일본의 2020년 도쿄 하계 올림픽을 기준으로 준비 중인 5G 기술기준과 표준 조사·분석
 - 그 외 미국 Verizon, 유럽, 중국 등의 기술 동향 조사 및 분석
- 국내외 주요 제조사 개발 현황 (삼성전자, 에릭슨, 노키아, 화웨이 등)
 - 삼성전자 및 국내기업의 5G 기지국 개발 현황 조사·분석
 - 해외 기지국 제조사의 5G 기지국 개발 현황 조사·분석

□ 1차년도 연구결과를 반영한 측정방법과 절차 정립 및 표준화

- 측정 케이스별 통제조건(환경, 무선설비 제어 등) 조사·분석
 - mmW 5G 기지국 실내외 서비스 환경 및 시설 구축현황 조사
 - mmW 5G 기지국 설치 환경에 따른 측정 조건 분석
- 각 케이스별 측정 프로세스 정립 및 검증 (향후 KCA에서 제작하는 시제품에 대한 프로세스 정립 및 검증 연구)
 - mmW 5G 기지국 실내 구축 환경에서의 측정 프로세스를 확립하고 측정 시제품 장치를 활용한 측정 데이터 축적/검증
 - 근거리장과 원거리장 영역에서의 측정 결과 비교를 통한 최적의 측정 방안 도출
 - 근접 측정환경, 원거리 측정 환경에 따른 측정 방법 및 신뢰성 확보를 위한 방안 마련
 - 시제품에 대한 검증을 위한 무반사실과 실외 시험장에서의 정확성 검증 및 불확정도 산출
- 측정 케이스별 실험실·현장 테스트를 통한 보완 및 표준화
 - 무반사실 측정, 실외 테스트 측정, 및 실제 서비스 환경에서의 측정 결과를 비교하여 측정 프로세스 및 측정 장치 보완
 - 최종 결과에 따른 실내외, 근거리, 원거리 등에 대한 측정 표준의 초안 도출 제시
- 측정방법 신뢰성 확보를 위한 표준 제안
 - 1차년도 연구결과: Near/Far-Field 측정방법 제안(별도제공)
 - 위 연구 분석 결과에 따른 최종 표준안 제안

□ 전파품질 관리를 위한 측정항목 제안

- 4G와 5G 기술기준 비교 조사·분석
 - 측정 항목 비교 및 그에 대한 기술적 분석 결과 제시
- 전파품질 관리를 위한 무선국 측정항목 및 당위성 제시

- Conducted 및 OTA에서의 측정 항목 연구 및 가능 항목 제시
- 각 항목에 따른 무선국 검사에 대한 필요성과 당위성 제시

□ 실효성 있는 연구결과 도출을 위한 관련 전문가 자문위 구성·운영(3회 이상)

5. 기대 효과

가. 기술(정책)적 측면

- o 5G 이동통신 서비스에 대비한 무선국 관리 방안 마련
- o 5G 무선설비 측정 표준 개발 및 검사방법 기술적 완성
- o OTA 측정 방법 도출 및 측정 솔루션 방안 마련

나. 산업·경제적 측면

- o 5G 기지국에 대한 선제적 측정 방안 마련으로 산업 활성화
- o 경제적이고 선진적인 측정/검사 방법 마련으로 비용 절감
- o OTA 검사제도 조기 도입으로 5G 무선설비 시설 확대 설치 및 서비스 활성화에 기여

6. 연구결과의 활용계획

가. 활용계획

- o 5G 무선국 검사제도 개선 및 기지국 검사에 적용
- o 전파관리 패러다임 변화에 선제적 대응에 적용
- o 5G 시범서비스 무선국에 검사에 적용

나. 연구 성공 시 다음단계 조치사항

- o 필드 테스트 및 현장 적응 시험, 검증 및 보완, 표준화

목 차

제 출 문

| | |
|-------------|----|
| 요약문 | 1 |
| 목차 | 6 |
| 그림 목차 | 9 |
| 표 목차 | 14 |
| 약어표 | 16 |

| | |
|-----------------------|---|
| 제1장 서 론 | 1 |
| 제1절 연구의 범위 및 방향 | 4 |
| 제2절 연구의 진행과정 | 7 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 제2장 5G 국내외 표준화 및 정책 동향 조사·분석 | 8 |
| 제1절 5G 이동통신 개요 | 9 |
| 2.1.1 5G 주파수 대역 동향 | 14 |
| 제2절 5G 국제 표준화 및 정책 동향 | 17 |
| 2.2.1 ITU 표준화 동향 | 17 |
| 2.2.2 3GPP 표준 동향 | 20 |
| 2.2.3 국내외 5G 정책 동향 | 26 |

| | |
|-------------------------------------|----|
| 제3장 5G NR 기술개발 현황 조사·분석 | 28 |
| 제1절 5G NR 기술 개요 | 29 |
| 3.1.1 신호파형(Waveform)과 다중접속 방식 | 30 |
| 3.1.2 NR Numerology와 Frame 구조 | 32 |
| 3.1.3 빔포밍 기술 | 33 |

| | | |
|-------|------------------------------------|-----|
| 3.1.4 | 기지국 안테나 기술 | 37 |
| 제2절 | 국내외 주요 제조사의 5G NR 개발 현황 | 41 |
| 3.2.1 | 국외 제조사의 무선설비 개발 현황 | 41 |
| 3.2.2 | 국내 제조사의 무선설비 개발 현황 | 43 |
| 제4장 | 5G NR 기지국 OTA 측정기술 | 47 |
| 제1절 | 국내 기지국검사 제도 현황 및 분석 | 48 |
| 4.1.1 | 기지국 검사 개요 | 48 |
| 4.1.2 | 국내 기지국검사 제도 현황 | 49 |
| 제2절 | 기지국 OTA 검사란? | 55 |
| 4.2.1 | EIRP 기반 OTA 검사 개요 | 56 |
| 4.2.2 | EIRP 기반 OTA 검사의 한계 | 61 |
| 4.2.3 | 5G NR 환경에 맞는 OTA 기지국 검사의 필요성 | 67 |
| 제3절 | 5G NR 기지국 OTA 성능검사 표준 소개 | 74 |
| 4.3.1 | 3GPP 5G NR 기지국 OTA 측정 표준 개요 | 74 |
| 4.3.2 | TS 37.145-1 표준 소개 | 76 |
| 4.3.3 | TS 37.145-2 표준 소개 | 79 |
| 4.3.4 | TS 38.141-2 진행상황 소개 | 82 |
| 제5장 | 5G NR 기지국 측정환경 분석 | 87 |
| 제1절 | 5G NR 기지국 구축 현황 | 88 |
| 5.1.1 | 3.5GHz 5G NR 기지국 구축 현황 | 89 |
| 제2절 | 5G NR OTA 측정 조건 분석 | 85 |
| 5.2.1 | 5G NR 기지국 설치 환경 | 85 |
| 5.2.2 | 5G NR 기지국 OTA 측정영역 분석 | 97 |
| 5.2.3 | 5G NR 기지국 OTA 측정 신뢰성 확보방안 분석 | 101 |
| 제6장 | OTA 기반 5G NR 기지국 현장측정 연구 | 107 |

| | |
|---|---------|
| 제1절 OTA 기반 무선국검사 측정방법 표준 | 107 |
| 6.1.1 무선국검사 표준 도출 프로세스 | 108 |
| 6.1.2 무선국검사 표준 측정절차 및 방법(안) | 110 |
| 제2절 5G 기지국 현장측정 사례 | 117 |
| 6.2.1 28GHz OCNS 환경 기반 실내 측정 사례 | 117 |
| 6.2.2 28GHz 기준신호 기반 기지국 출력 추정 사례 | 139 |
| 6.2.3 3.5GHz 기준신호 기반 기지국 출력 추정 사례 | 145 |
| 제7장 결 론 | 157 |
| 참고문헌 | 161 |

그림 목차

| | | |
|-----------|----------------------------------|----|
| <그림 1-1> | 연구의 진행과정 | 7 |
| <그림 2-1> | 4G까지의 디지털 이동통신 진화과정 | 10 |
| <그림 2-2> | LTE 이후의 이동통신 진화과정 | 11 |
| <그림 2-3> | 5G의 3대 이용 시나리오 | 11 |
| <그림 2-4> | 5G의 key capabilities | 12 |
| <그림 2-5> | 5G의 3대 이용 시나리오와 KPI의 상관관계 | 13 |
| <그림 2-6> | ITU-R의 IMT-2020 표준화 일정 | 18 |
| <그림 2-7> | 3GPP의 ITU 표준화 후보기술 제안 절차 | 22 |
| <그림 2-8> | 3GPP의 Release 일정 | 22 |
| <그림 2-9> | 3GPP의 5G 표준화 추진일정 | 23 |
| <그림 2-10> | 3GPP SA1의 5G 서비스 요구사항 | 24 |
| <그림 2-11> | NR을 고려한 5G 네트워크 아키텍처 | 25 |
| <그림 2-12> | 5G NR 네트워크에 대한 3GPP 표준화 일정 | 26 |
| <그림 3-1> | 5G NR 기술의 대표적인 특징 | 29 |
| <그림 3-2> | 5G 서비스별 OFDM 차이 | 31 |
| <그림 3-3> | NR frame 기본 구조 | 33 |
| <그림 3-4> | 디지털 빔포밍과 아날로그 빔포밍의 차이 | 34 |
| <그림 3-5> | SS 블록의 구조 | 35 |
| <그림 3-6> | 5G NR 빔포밍 절차 | 36 |
| <그림 3-7> | 기지국 안테나의 일반적인 구성 | 37 |
| <그림 3-8> | 세대별 기지국 안테나 기술의 발전 | 38 |
| <그림 3-9> | 종래의 기지국과 AAS를 갖는 기지국의 비교 | 39 |
| <그림 3-10> | 3GPP에서 논의된 AAS의 구조 | 40 |
| <그림 3-11> | 화웨이 소비자용 단말 5G CPE | 41 |
| <그림 3-12> | 퀄컴 스냅드래곤 X50 모뎀 칩셋 | 42 |

| | |
|---|----|
| <그림 3-13> 삼성전자 5G 종합 솔루션 제품군 | 44 |
| <그림 4-1> 무선국검사 절차 | 52 |
| <그림 4-2> 무선국의 주요 기술기준 항목 | 52 |
| <그림 4-3> 안테나에 따른 이득 | 57 |
| <그림 4-4> EIRP에 따른 빔 특성 | 57 |
| <그림 4-5> μ 와 P_{lim} 의 관계 | 64 |
| <그림 4-6> 기존의 EIRP 측정 방식과 제안한 방식의 차이 | 65 |
| <그림 4-7> 빔의 개수에 따른 평균방사전력 | 66 |
| <그림 4-8> 동축커넥터의 종류 | 71 |
| <그림 4-9> 동축커넥터의 고장 사례 | 71 |
| <그림 4-10> 전자파강도 측정방법 비교 | 73 |
| <그림 4-11> AAS BS의 기지국 송신기 측정 기준점 | 75 |
| <그림 4-12> AAS BS 송신부의 직결측정 방법 | 77 |
| <그림 4-13> AAS BS의 기지국 송신기 OTA 측정 기준점 | 78 |
| <그림 4-14> beam direction pair의 예 | 79 |
| <그림 4-15> 각 빔별 측정 위치 | 81 |
| <그림 4-16> probe 배열을 이용한 기지국 OTA 측정 | 79 |
| <그림 4-17> 기지국 OTA 측정 발전 단계 | 80 |
| <그림 5-1> Phantom 셀 개념 | 88 |
| <그림 5-2> Nokia 5G NR 3.5GHz 기지국 형상 | 89 |
| <그림 5-3> 빔포밍 32TR 96 안테나 소자 구성(예) | 91 |
| <그림 5-4> 화웨이 5G NR FR1 32 TR 기지국(예) | 92 |
| <그림 5-5> 삼성 5G NR FR1 32TR 기지국(예) | 92 |
| <그림 5-6> 5G 기지국 설치 사례 | 93 |
| <그림 5-7> 3.5 GHz 5G 원격 분배장치 사례 | 94 |
| <그림 5-8> Outdoor-to-Indoor 밀리미터 5G 기지국 사례 | 95 |
| <그림 5-9> 밀리미터 5G Indoor 서비스 중계기 설치 사례 | 96 |
| <그림 5-10> 3.5GHz 안테나 크기 예시 | 97 |

| | |
|---|-----|
| <그림 5-11> 3.5GHz 기지국 OTA 측정영역 구분 | 99 |
| <그림 5-12> 28GHz 기지국 OTA 측정영역 구분 | 100 |
| <그림 5-13> 빔포밍 안테나 수직방향 정렬 측정 | 101 |
| <그림 5-14> 빔포밍 안테나 수평방향 정렬 측정 | 101 |
| <그림 5-15> 수직 2배열 수평 4배열 빔 수직방향 정렬 | 102 |
| <그림 5-16> 빔폭에 따른 거리 및 HPW 길이 | 102 |
| <그림 5-17> 빔 정렬 거리별 측정 높이 계산 | 103 |
| <그림 5-18> 거리측정을 이용한 지향각도 측정 | 104 |
| <그림 5-19> OTA 측정거리 및 기울기 측정 개념 | 105 |
| <그림 5-20> 5G 기지국 OTA 측정 도구 구조 | 106 |
| <그림 6-1> 무선국검사 표준화도출 프로세스 정립 | 109 |
| <그림 6-2> 5G 기지국 OTA 측정 방법 분류 | 110 |
| <그림 6-3> 5G NR 기지국 OTA 검사 전체 절차 | 111 |
| <그림 6-4> 5G NR 기지국 OTA 측정 상세 절차 | 112 |
| <그림 6-5> PDSCH 테스트 모드 | 113 |
| <그림 6-6> Antenna Field region | 114 |
| <그림 6-7> 다양한 구성의 안테나 개구면 크기 정의 | 115 |
| <그림 6-8> 기지국 OTA 측정 환경 | 118 |
| <그림 6-9> 거리별 수신 Power | 119 |
| <그림 6-10> 거리별 계산된 EIRP | 119 |
| <그림 6-11> 점유대역폭 (1m) | 121 |
| <그림 6-12> 점유대역폭 (5m) | 122 |
| <그림 6-13> 인접채널 Lower 1m(100MHz) | 123 |
| <그림 6-14> 인접채널 Upper 1m(100MHz) | 124 |
| <그림 6-15> 인접채널 1m (800MHz) | 124 |
| <그림 6-16> 인접채널 Lower 5m(100MHz) | 125 |
| <그림 6-17> 인접채널 Upper 5m(100MHz) | 125 |
| <그림 6-18> 인접채널 5m (800MHz) | 126 |

| | |
|---|-----|
| <그림 6-19> 대역외 측정범위 | 127 |
| <그림 6-19> 대역외 발사 Lower 대역 @1m | 129 |
| <그림 6-20> 대역외 발사 Upper 대역 @1m | 130 |
| <그림 6-21> 대역외 발사 Lower 대역 @ 5m | 131 |
| <그림 6-22> 대역외 발사 Upper 대역 @5m | 132 |
| <그림 6-23> 스푸리어스 Lower 1m | 135 |
| <그림 6-24> 스푸리어스 Middle 1m | 135 |
| <그림 6-25> 스푸리어스 Upper 1m | 136 |
| <그림 6-26> 스푸리어스 Lower 5m | 136 |
| <그림 6-27> 스푸리어스 Middle 5m | 137 |
| <그림 6-28> 스푸리어스 Upper 5m | 137 |
| <그림 6-29> Spectrum 채널 Power Clear/Write 1 | 140 |
| <그림 6-30> Spectrum 채널 Power Clear/Write 2 | 141 |
| <그림 6-31> Spectrum 채널 Power Average 1 | 141 |
| <그림 6-32> Spectrum 채널 Power Average 2 | 136 |
| <그림 6-33> Spectrum 채널 Power Max | 142 |
| <그림 6-34> Demodulation Summery | 143 |
| <그림 6-35> Time Domain Sub Carrier | 144 |
| <그림 6-34> 5G NR SS Burst 구조 | 145 |
| <그림 6-35> 5G NR 프레임 구조 및 Resource grid | 146 |
| <그림 6-36> SSB의 구성 | 147 |
| <그림 6-37> 화웨이 기지국 Test mode 신호 측정(예) | 148 |
| <그림 6-38> 보상계수 또는 외삽인자의 개념 | 150 |
| <그림 6-39> 보정 인자에 대한 도출 개념 | 151 |
| <그림 6-40> 하나의 SS Burst 주기구성 내 자원요소 | 152 |
| <그림 6-41> 슬롯포맷이 0인 경우의 시간영역에서의 신호 | 154 |
| <그림 6-42> 슬롯포맷이 4인 경우의 시간영역에서의 신호 | 154 |
| <그림 6-43> 5G NR 신호의 종류에 따른 전력 비율 | 155 |

<그림 6-44> 복조영역에서의 측정 결과 화면 (slot format 0와 4) 156

표 목차

| | | |
|----------|--|----|
| <표 1-1> | 연구의 범위 및 내용 | 6 |
| <표 2-1> | 3GPP 주파수 정의 | 14 |
| <표 2-2> | WRC-15에서 발표한 5G 밀리미터파 후보 주파수 대역 | 15 |
| <표 2-3> | 3GPP FR1 주파수 대역 | 16 |
| <표 2-4> | 3GPP FR2 주파수 대역 | 16 |
| <표 2-5> | 5G의 기술성능 요구사항(TPR) | 18 |
| <표 2-6> | 5G 이용 시나리오에 따른 시험환경 | 20 |
| <표 2-7> | 주요 국가별 5G 정책 동향 | 27 |
| <표 3-1> | 5G NR phase 1의 OFDM 부반송파 간격 | 31 |
| <표 3-2> | 5G NR phase 1의 Numerology | 32 |
| <표 4-1> | 무선국 측정의 분류 | 48 |
| <표 4-2> | 무선국 검사의 종류 | 50 |
| <표 4-3> | 무선국 정기검사의 시기 | 50 |
| <표 4-4> | 무선국 종류에 따른 검사절차 비교 | 50 |
| <표 4-5> | 이동통신 기지국 기술기준 주요 항목 | 53 |
| <표 4-6> | ERP와 EIRP의 관계 | 58 |
| <표 4-7> | 무선국의 출력관리 기준 비교 | 59 |
| <표 4-8> | 무선국의 출력관리 기준의 장단점 분석 | 59 |
| <표 4-9> | 3GPP 무선국 특성 항목과 국내 무선국검사 항목 비교 | 69 |
| <표 4-10> | 3GPP OTA 측정 관련 주요 표준 | 74 |
| <표 4-11> | 3GPP TS-37.145-1의 송신기 측정항목 | 76 |
| <표 4-12> | TS 37.145-2와 TS 38.141-2의 항목 비교 | 83 |
| <표 4-13> | TS 38.141-2의 TX OTA 측정항목 | 84 |
| <표 4-13> | TS 38.141-2의 FR1 대역의 TX OTA 측정오차 | 85 |
| <표 4-14> | TS 38.141-2의 FR2 대역의 TX OTA 측정오차 | 86 |

| | | |
|----------|--|-----|
| <표 4-15> | 5G NR OTA 측정을 위한 Test Mode | 86 |
| <표 5-1> | Nokia 5G NR FR1 32TR 기지국 사양 | 90 |
| <표 5-2> | 3.5GHz 대역 최대 원거리장 측정 구간 | 98 |
| <표 5-3> | 밀리미터파 5G 원거리장 영역 계산 | 99 |
| <표 5-4> | 빔폭에 따른 거리 및 HPW 길이 | 103 |
| <표 5-5> | 빔정렬 거리별 측정높이 계산 | 104 |
| <표 6-1> | 기지국 Test mode OTA 측정 장비 | 117 |
| <표 6-2> | 거리별 수신 Power 및 계산된 EIRP | 120 |
| <표 6-3> | 거리 별 점유 대역폭 | 121 |
| <표 6-4> | 인접채널 누설 전력 비 | 123 |
| <표 6-5> | 대역 외 발사 측정 결과 | 128 |
| <표 6-6> | 대역 외 발사 피크레벨 측정기반 수정결과 | 133 |
| <표 6-7> | 스퓨리어스 측정결과 | 134 |
| <표 6-8> | 5G NR Demodulation 측정 장비 | 139 |
| <표 6-9> | Spectrum 채널 Power 측정 결과 | 140 |
| <표 6-10> | Demodulation 채널 Power 측정 결과 | 143 |
| <표 6-11> | Time Domain 채널 Power 측정 결과 | 144 |
| <표 6-12> | 3GPP TS38.101: 최대 전송대역폭에 따른 N_{RB} | 150 |
| <표 6-13> | 실험 측정 장비 및 사양 | 152 |
| <표 6-14> | 시간 영역에서의 최대출력 추정 실험 결과 | 153 |
| <표 6-15> | 복조영역에서의 측정 결과 | 155 |

약어 표

3GPP : 3rd Generation Partnership Project
AAS : Active Antenna System
ACLR : Adjacent Channel Leakage Ratio
AP : Access Point
BBU : BaseBand Unit
BS : Base Station
CA : Carrier Aggregation
CDMA: Code Division Multiple Access
CPICH : Common Pilot Channel
CSI : Channel State Information
eMBB: Enhanced Mobile Broadband
EDGE : Enhanced Data rates for GSM Evolution
EIRP : Effective Isotropic Radiated Power
EIS : Effective Isotropic Sensitivity
ERP : Effective Radiated Power
EVM : Error Vector Magnitude
FCC : Federal Communications Commission
FDD : Frequency Division Duplexing
FFT : Fast Fourier Transform
FNA : Federal Network Agency
FR1 : Frequency Range 1
FR2 : Frequency Range 2
GPRS : General Public Radio Service
GSM : Global System for Mobile
IoT : Internet of Things
ITU : International Telecommunication Union
KPI : key capabilities
LAN : Local Area Network

LMDS: Local Multi-point Distribution Service
LOS : Line of Sight
LTE : Long Term Evolution
M2M : Machine-to-Machine
MIMO : Multiple Input Multiple Output
mMTC : Massive Machine Type Communication
NR : New Radio
NSA : Non Stand-Alone
OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA : Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OTA : Over-The-Air
PAPR : Peak-to-Average Power Ratio
PBCH : Physical Broadcast Channel
RAN : Radio Access Network
RDN : Radio Distribution Network
RF : Radio Frequency
RRH: Remote Radio Head
RS : Reference Signal
RTT : Radio Transmission Technology
SA : Stand-Alone
SAR : Specific Absorption Ratio
SDO : Standards Development Organization
SDR : Software Defined Radio
SISO : Single Input Single Output
SS : Synchronization Signal
TAB : Transceiver Array Boundary
TAE : Time Alignment Error
TDD : Time Division Duplexing
TPR : Technical Performance Requirements
TRP : Total Radiated Power
TRS : Total Radiated Sensitivity

TM : Transmission Mode

TR : Technical Report

TS : Technical Specification

TSG : Technical Specification Group

URLLC : Ultra-Reliable and Low Latency Communication

UTRA : Universal Terrestrial Radio Access

W-CDMA : Wideband CDMA

WG : Working Group

WP : Working Party

제1장 서론

제1장 서론

5G 이동통신은 2020년 상용화(실제로는 2019년 초기 상용화, 국내에서는 2018년 말 초기 상용화¹⁾)가 예상되며, 이를 위해 국제 표준화기구인 ITU-R (International Telecommunication Union - Radiocommunications)에서 표준화가 진행되었고, 사실표준단체인 3GPP (3rd Generation Partnership Project)를 중심으로 서비스, 코어 네트워크, 무선접속기술 등 다양한 표준이 완성되고 있다. 국내에서는 2018년 2월 평창올림픽에서 KT의 5G 시범서비스가 진행되었고, 그 후 2018년 6월에 진행된 주파수 경매를 통해 이동통신 3사에 5G 주파수인 3.5GHz와 28GHz가 할당되어 2018년 말 5G 초기 상용화가 시작되었다.

5G 이동통신의 본격적인 상용화를 대비하기 위해서는 전 세계적으로 기술개발, 표준화, 서비스 측면에서 다양한 노력이 필요하다. 이러한 노력의 일환으로 무선국검사 측면에서도 5G 이동통신에 대한 연구가 진행되고 있다. 국내에서는 외국과 다르게 현장에서 무선국 검사를 의무적으로 받고 있다. 하지만 기존의 4G 이하 시스템에 적용된 무선국 검사 방법을 5G 시스템에서 바로 적용하기엔 어려움이 있다.

먼저, 5G 할당 주파수 대역은 3.5 GHz 대역과 28 GHz 대역이 있는데, 이중 밀리미터파 대역인 28 GHz를 이용하는 5G NR (New Radio) 시스템의 경우 기존의 수 GHz 이하의 이동통신 시스템에 비해 주파수가 매우 높을 뿐 아니라 다양한 빔이 시간에 따라 가변되는 빔포밍 (Beamforming) 방식이 사용되기 때문에 안테나의 개수가 수십 개 이상이 되므로 안테나 단자별로 측정하는 기존의 직결 측정 방식의 무선국 검사방법을 바로 적용하기 어렵다. 또한 3.5 GHz 대역의 5G 시스템에서도 빔포밍을 사용하는 MIMO 시스템의 경우 직결측정 단자가 있다 하더라도 8개 단자 이상의 기지국의 경우 직결측정이 어렵다. 다음으로 이동통신의 기술발전 속도

1) 국내에서는 2018년 12월 3.5 GHz 대역의 5G 전파를 세계 최초로 발사하였고, 2019년 3월 5G 단말기를 출시될 것으로 예상된다.

에 비해 국내 무선국검사는 그 목적, 검사항목 및 검사방법 등에 있어 큰 변화가 없어 기존 무선국검사 방법이 최신 이동통신 기술의 특성을 제대로 측정하기가 어렵다. 특히 TDD (Time Division Duplexing) 환경과 빔포밍 기술을 근간으로 하는 5G NR의 경우 시간과 공간에 빔특성의 변화에 대한 고려가 없는 기존 직결측정 기반의 무선국검사 방식으로 측정하는 것은 근본적으로 불가능하다.

이러한 문제는 기지국 현장검사 외에 성능검사(Conformance Test)에서도 이슈가 되고 있어 3GPP 표준에서도 밀리미터파 대역에서 기지국 성능검사를 위해서 OTA (Over-the-Air) 측정이 필요하다고 판단하고 OTA 측정표준을 완성한 바 있다. 하지만 성능검사는 전자파무반향실에서 기지국의 빔을 정밀하게 제어할 수 있는 환경에서 진행되는 검사이므로 기지국 현장검사에 바로 적용하기는 어려운 상황이다.

이러한 다양한 필요성에 따라 5G 이동통신 환경에 맞는 무선설비 측정방법 마련이 필요하다는 판단 하에 본 연구책임자는 2017년 『5G 이동통신 서비스 도입을 대비한 무선설비 측정방법 연구』 과제를 KCA 위탁과제로 진행한 바 있다. 2017년 연구에서는 밀리미터파 대역의 고정빔을 사용하는 무선국은 OTA 기반의 EIRP (Effective Isotropic Radiation Power) 측정이 가능함을 보인 바 있다. 하지만 아직까지 밀리미터파 대역에서 빔포밍 및 TDD 환경 하에서 OTA를 통한 신뢰성 있는 무선국검사에 대한 심도있는 연구가 국내외적으로 진행된 바는 없다.

이에 본 연구에서는 OTA 측정의 신뢰성 향상을 위한 방안을 제시하는 것을 목표로 한다. 먼저 빔이 가변되는 빔포밍과 TDD 환경 하에서 기술기준이 제시한 최대출력보다 실제 특정지점에서 수신되는 전력의 차이를 이론적으로 분석하였다. 기존의 4G 이하 FDD (Frequency Division Duplexing) 시스템에서는 상향링크(Uplink)와 하향링크(Downlink)의 주파수 대역이 분리되어 있고 안테나 빔이 고정되어 있으므로 하향링크에 한하여 기지국 측정을 하는 경우 기술기준이 제시한 최대출력과 실제 특정지점에서 수신되는 전력의 차이가 없지만 5G에서는

차이가 큼을 알 수 있었다²⁾.

이러한 5G의 특징을 고려하여 본 연구에서 다음과 같은 무선국검사 방법을 제안하였다. 먼저 무선국검사는 서비스 시작 전에 수행하는 준공검사와 서비스 시작 후 이루어지는 검사로 분리된다. 준공검사의 경우 TS 38.141-2 표준을 기반으로 테스트 모드(Test mode)를 기반으로 OTA 측정하는 방식을 제안하고자 한다. 하지만 TS 38.141-2 표준은 전자파 챔버에서 수행하는 기지국 성능검사이므로 표준을 따르기 보다는 표준의 일부만을 활용하여 간이로 확인하는 정도의 측정만이 가능할 것으로 사료된다. 다음으로 서비스 시작 후 이루어지는 정기검사는 2017년 제안한 기준신호(pilot 채널, SSB 블록 등) 기반의 최대 무선국 출력을 예측하는 방법을 제안하였다.

본 최종보고서는 위와 같은 5G NR 시스템을 위한 기지국검사 방법에 관한 현재까지의 연구결과를 소개하고, 최종보고서 발표 이후 KCA와 긴밀한 협의 및 관련 전문가 자문회의를 거쳐 관련 국내 표준화를 진행하고자 한다.

제1절 연구의 범위 및 방향

본 연구에서는 5G 이동통신을 위한 5G OTA 측정방법 신뢰성 검증 및 표준화 연구를 목표로 한다. 이를 위해 먼저, 현재까지의 5G 표준화 동향 및 정책동향을 조사·분석 및 5G NR 기술개발 현황을 조사·분석하였다. 다음으로 5G NR OTA 측정기술을 소개하였다. 이를 바탕으로 5G NR 기지국 OTA 측정환경을 분석하고, 각 케이스별 측정 프로세스를 정립하였다. 이를 바탕으로 OTA기반 무선국검사의 측정방법 표준을 제안하였고 이를 실험적으로 검증하였다.

2) TDD의 경우 동일 주파수대역 내에서 시간에 따라 상향링크와 하향링크가 분리되기 때문에 기지국의 시간점유율에 따라 방사전력의 양이 정해진다. 또한 스마트 안테나 기반의 빔포밍 기술이 사용되므로 생성된 빔의 공간 점유율에 따라 방사되는 전력이 달라진다.

본 연구의 범위 및 주요 연구내용은 다음과 같다.

□ 1차(2017년도)연구 이후 5G 표준화 동향 및 정책 조사·분석

- 국제 표준화 동향 및 국내 표준화 추진 현황 조사·분석
 - 3GPP TS 38.104, TS 38.141-2 표준 분석을 통해서 국내 5G 기지국 Conducted 및 OTA 측정 표준에 대한 방향 설정
 - RRA의 5G 무선국검사 관련 기술기준 현황 및 결과연동
- 5G 주요 선도국 정책 및 기술 동향 (한국, 미국, 일본, 중국 등)
 - 2017년 11월 3GPP 표준 TS 38.104 이후 각국의 기술기준 적용 동향 조사·분석
 - 일본의 2020년 도쿄 하계 올림픽을 기준으로 준비 중인 5G 기술기준과 표준 조사·분석
 - 그 외 미국 Verizon, 유럽, 중국 등의 기술 동향 조사 및 분석
- 국내외 주요 제조사 개발 현황(삼성전자, 에릭슨, 노키아, 화웨이 등)
 - 삼성전자의 5G 기지국 개발 현황 조사·분석
 - 해외 기지국 제조사의 5G 기지국 개발 현황 조사·분석
 - 국내 중견기업 5G 중계기 개발 현황 조사·분석

□ 1차년도 연구결과를 반영한 측정방법과 절차 정립 및 표준화

- 측정 케이스별 통제조건(환경, 무선설비 제어 등) 조사·분석
 - mmW 5G 기지국 실내외 서비스 환경 및 시설 구축현황 조사
 - mmW 5G 기지국 설치 환경에 따른 측정 조건 분석
- 각 케이스별 측정 프로세스 정립 및 검증
 - mmW 5G 기지국 실내 구축 환경에서의 측정 프로세스를 확립하고 측정 시제품 장치를 활용한 측정 데이터 축적/검증
 - 근거리장과 원거리장 영역에서의 측정 결과 비교를 통한 최적의 측정 방안 도출
 - 근접 측정환경, 원거리 측정 환경에 따른 측정 방법 및 신뢰성 확보를 위한 방안 마련









- 시제품에 대한 검증을 위한 무반사실과 실외 시험장에서의 정
확성 검증 및 불확정도 산출
- o 측정 케이스별 실험실·현장 테스트를 통한 보완 및 표준화
 - 무반사실 측정, 실외 테스트 측정, 및 실제 서비스 환경에서의
측정 결과를 비교하여 측정 프로세스 및 측정 장치 보완
 - 최종 결과에 따른 실내외, 근거리, 원거리 등에 대한 측정 표
준의 초안 도출 제시
- o 측정방법 신뢰성 확보를 위한 표준 제안
 - 1차년도 연구결과: Near/Far-Field 측정방법 제안(별도제공)
 - 위 연구 분석 결과에 따른 최종 표준안 제안
- 전파품질 관리를 위한 측정항목 제안
 - o 4G와 5G 기술기준 비교 조사·분석
 - 측정 항목 비교 및 그에 대한 기술적 분석 결과 제시
 - o 전파품질 관리를 위한 무선국 측정항목 및 당위성 제시
 - Conducted 및 OTA에서의 측정 항목 연구 및 가능 항목 제시
 - 각 항목에 따른 무선국 검사에 대한 필요성과 당위성 제시

<표 1-1> 연구의 범위 및 내용

| 연구 범위 | 연구 내용 |
|----------------------------|---|
| 5G 표준화 동향 및 정책 조사·분석 | <ul style="list-style-type: none"> - 국제 표준화 동향 및 국내 표준화 추진 현황 조사·분석 - 5G 주요 선도국 정책 및 기술 동향 (한국, 미국, 영국, 일본, 중국 등) - 국내외 주요 제조사 개발 현황 (삼성전자, 에릭슨, 노키아, 화웨이 등) |
| 5G OTA측정방법과 절차 정립 및 표준화 | <ul style="list-style-type: none"> - 측정케이스별 통제조건 조사분석 - 각 케이스별 측정 프로세스 정립 및 검증 - 측정 케이스별 실험실·현장 테스트를 통한 보완 및 표준화 - 측정방법 신뢰성 확보를 위한 표준 제안 |
| 전파품질 관리를 위 한 측정항목 제안 | <ul style="list-style-type: none"> - 4G와 5G 기술기준 비교 조사·분석 - 전파품질 관리를 위한 무선국 측정항목 및 당위성 제시 |

제2절 연구의 진행과정

본 과제 of 진행과정은 <그림 1-1>과 같다. 그림에서 알 수 있듯이 당초 연구계획에 맞게 연구가 진행되고 있다. 특히, 5G 기지국의 OTA 측정방법에 대한 절차 연구의 중요성으로 하반기에 계획된 5G OTA 측정방법에 대한 연구가 연구시작단계에서부터 시작되었다. 당초 계획에 없던 새로운 평균전력 기반의 새로운 측정방법의 이론적인 기초를 제시하고 시뮬레이션이 추가되었다. 실제 5G 기지국에 대한 실험의 경우 KCA에 설치 예정인 시험 기지국의 설치 지연으로 중간보고서 이후 측정되었다. 측정은 28GHz와 3.5GHz 기지국 모두에 대해 수행하였으나 28GHz 기준 신호기반 측정의 경우 장비의 한계로 5G NR 신호발생기를 이용하였다.

| 과제내용 | 연구기간 (2018년 3월 ~ 2018년 12월) | | | | | | | | | | | 비고 | |
|--------------------------------|--|---|--|---|---|---|--|----|----|----|---|-------------|-----|
| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | | |
| 5G 표준화 동향 및 정책 조사분석 |  | | | | | | | | | | | 장병준, 윤현구 | |
| 5G NR 기술개발 현황 조사분석 | | |  | | | | | | | | | 장병준, 윤현구 | |
| 전파품질 측정항목 제안 → OITA 검사방법 제안 | | |  | | | | | | | | | 장병준 | |
| 5G OTA 측정방법 절차 정립 | | |  | | | | | | | | | | 문성원 |
| 5G OTA 측정방법 표준화 | | | | | | |  | | | | | 문성원, 장병준 | |
| 자문위 구성 및 운영 |  4.23(용산) | | | | |  중간보고회 (9.13나주) | | | | |  최종보고회 | | |

<그림 1-1> 연구의 진행과정

제2장 5G 국내외 표준화 및 정책 동향 조사·분석

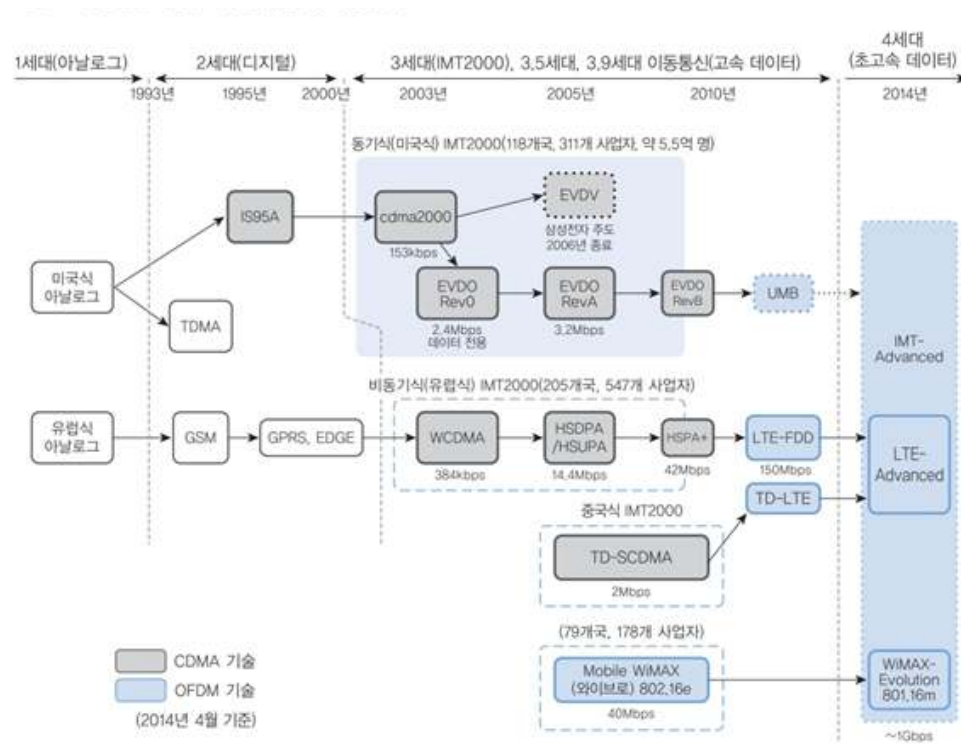
제2장 5G 국내외 표준화 및 정책 동향 조사·분석

제1절 5G 이동통신 개요

이동통신 기술은 지난 수십 년간 무선전화 형태의 단순한 음성 서비스에서 시작하여 최근에는 LTE (Long Term Evolution) 기반의 4세대 (4G) 이동통신기술로 발전하여 음성뿐만 아니라 비디오 제공이 가능한 인터넷 서비스로 확대되었고, 최근에는 5세대 이동통신으로 진화하고 있다. 디지털 이동통신의 진화과정을 2세대 (2G)부터 4G 까지 진화과정은 <그림 2-1>과 같다. 그림에서처럼 이동통신 기술은 다양한 기술이 상호 경쟁하며 발전하였다. 예를 들어 2G 시대 다중접속 기술인 CDMA (Code Division Multiple Access) 계열과 TDMA (Time Division Multiple Access) 계열의 경쟁, 3세대에서 Wi-Fi 계열의 WiBro와 3GPP 계열의 LTE의 경쟁으로 인해 이동통신 기술은 지속적으로 발전될 수 있었다. 4G 까지의 기술경쟁에서 최종 승자라 할 수 있는 3GPP 계열은 경쟁기술의 장점을 흡수함으로써 기술의 우위를 지속할 수 있었다. 이렇게 해서 4G LTE 무선접속 기술은 OFDM/MIMO (Orthogonal Frequency Division Multiplexing/Multi-Input Multi-Output) 기술을, 망 측면에서는 All-IP망인 EPC (Evolved Packet Core)망을 사용함으로써 이동통신과 인터넷의 호환이 자유롭게 되었다.

2018년 12월 1일 자정부터 상용서비스를 시작한 5G 이동통신 기술은 기존의 인터넷 서비스를 초월하여 초고속 데이터 전송을 위한 광대역 전송과 대량의 사물통신, 그리고 높은 안정화 및 저지연을 위한 통신 등 기존의 이동통신을 뛰어넘는 다양한 서비스를 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 5G 이동통신은 국제 표준화 기구에서 사용하는 공식 용어가 아닌 시장에서 사용되는 용어로 공식 용어는 ITU-R에서 승인된 IMT-2020이다. ITU-R 의 WP (Working Party) 5D에서 승인한 요구사

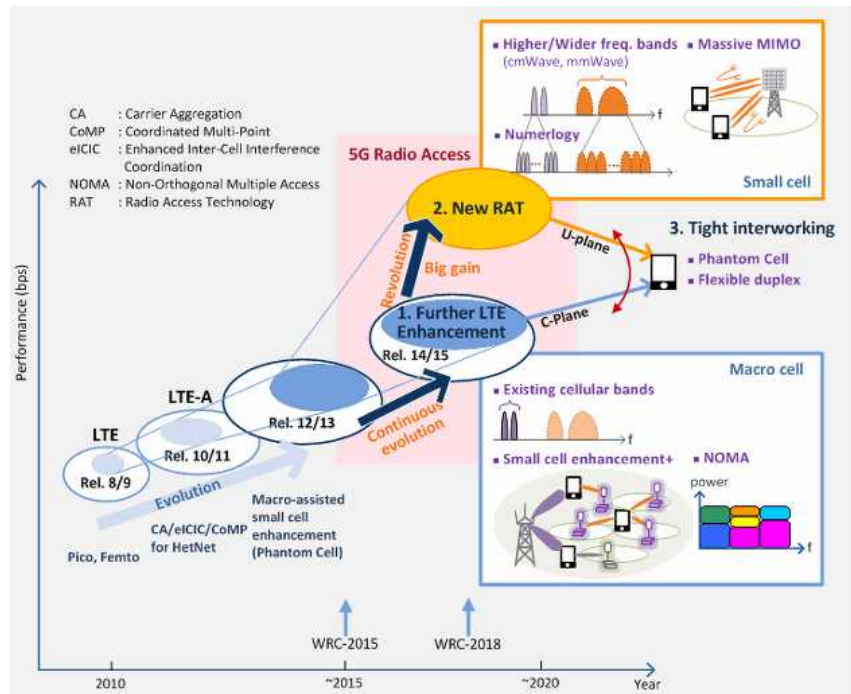
향을 만족하는 무선전송기술 (RTT; Radio Transmission Technology) 규격을 IMT-xxxx라고 부르는데, 5G³⁾ 이동통신은 IMT-2020을 의미한다.



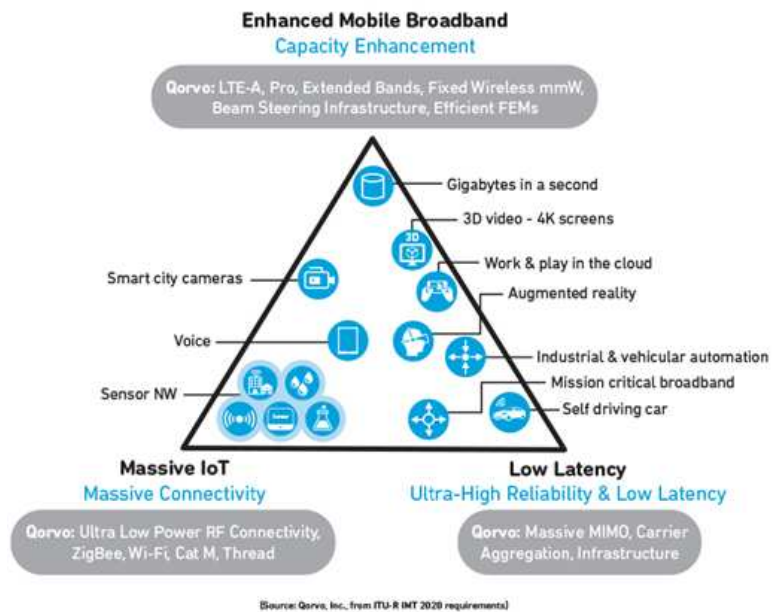
<그림 2-1> 4G 까지의 디지털 이동통신의 진화과정

ITU의 5G 이동통신 비전에 따라 5G 이동통신은 4G 이동통신인 LTE Advanced 진화기술과 5G를 위한 신규 무선접속기술(NR: New Radio)을 포함하고, 주파수 대역도 6GHz 이상/이하 모두에서 사용 가능하다. <그림 2-2>에 LTE 이후의 이동통신 진화과정을 나타내었다. 5G 이동통신 기술 중 NR 기술은 향후 10년 이상 진화할 5세대 이동통신 표준의 뼈대가 되는 핵심기술이므로 관심이 집중되고 있다. NR 기술의 핵심망은 LTE 코어망인 EPC망과 다르게 신규 핵심망으로 5GC (5G Core)라고 부른다.

3) 본 보고서에서는 편의상 5G로 통일하여 사용하기로 한다.

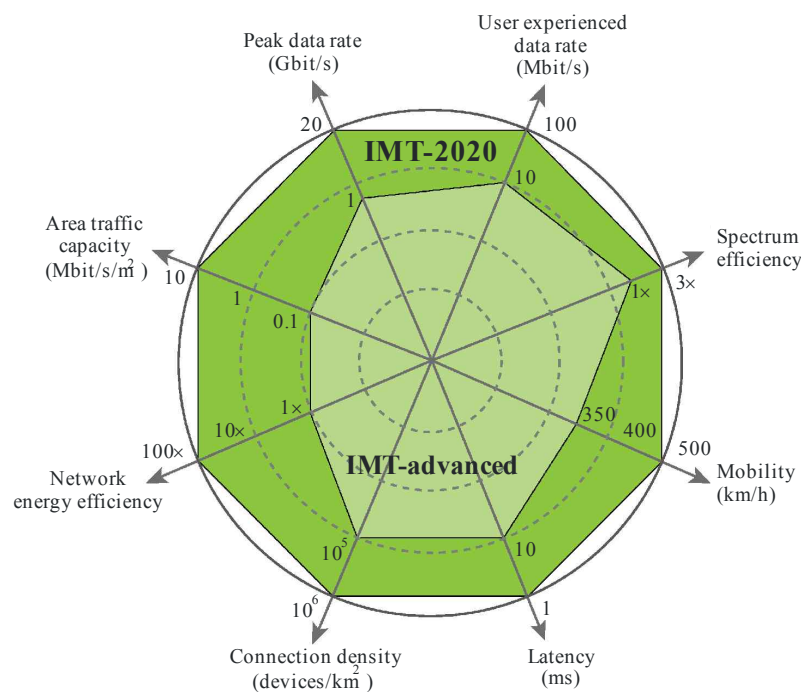


<그림 2-2> LTE 이후의 이동통신 진화과정



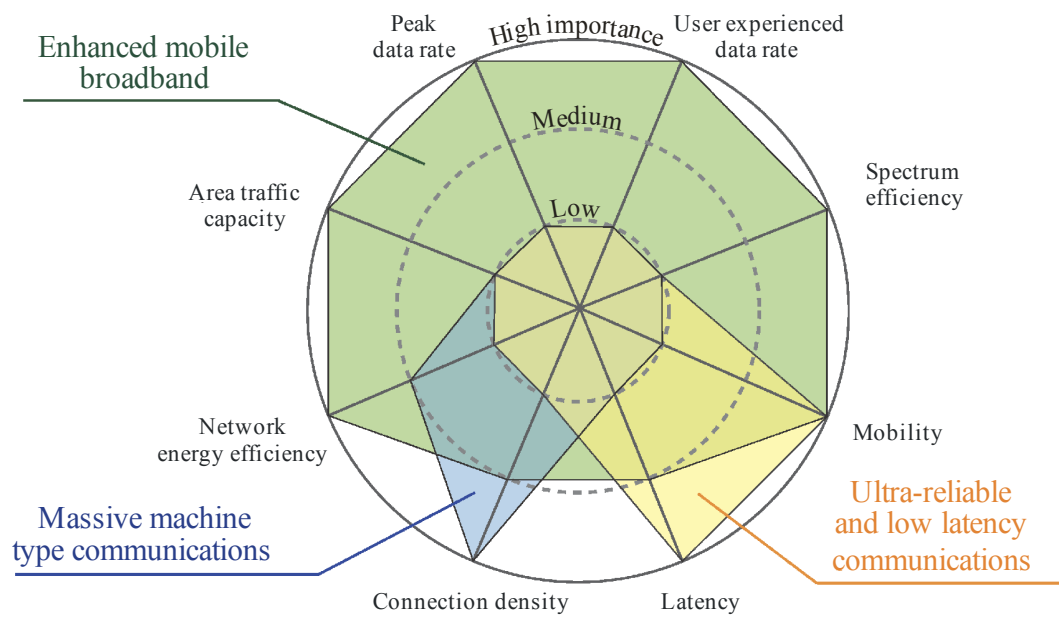
<그림 2-3> 5G의 3대 이용 시나리오 [출처: ITU-R Rec. M.2803, Qorvo 수정]

서비스 측면에서 5G는 고속 전송, 고밀도 사물통신, 고도의 안정성을 요구하는 재난/자율주행 등을 위해 <그림 2-3>에서와 같이, eMBB (Enhanced Mobile Broadband), mMTC (massive Machine Type Communication), URLLC (Ultra-Reliable and Low Latency Communications)의 3대 이용 시나리오를 위한 통신시스템이다. 그리고 3대 이용 시나리오를 위한 5G의 8개 key capabilities (KPI)를 제시하여, 각 항목에 대해 4G와 비교하여 개선 정도를 <그림 2-4>와 같이 나타내었다. 4G 대비 사용자 체감 데이터 전송속도는 10배, 주파수 효율은 3배를 KPI로 제시되고 있다. 뿐만 아니라 이용 시나리오에 따른 주요 KPI를 도식화 하여, 이용 시나리오와 KPI의 연계성을 <그림 2-5>와 같이 나타내고 있다. eMBB와 연관성이 높은 KPI가 6가지이고, mMTC가 1가지, URLLC가 2가지로, mobility는 eMBB와 URLLC에 동시에 연관이 높은 파라미터임을 나타내고 있다.



M.2083-0.

<그림 2-4> 5G의 key capabilities [출처: ITU-R Rec. M.2803]



M.2083-04

<그림 2-5> 5G의 3대 이용 시나리오와 KPI의 상관관계 [출처: ITU-R Rec. M.2803]

2.1.1 5G 주파수 대역 동향

5G NR 기술은 6GHz 이하 주파수 대역 (FR1: Frequency Range 1)과 6 GHz 이상 주파수대역 (FR2: Frequency Range 2)를 포함한다. 4G 이하 이동통신 기술이 FR1 대역을 주로 사용된 것에 반하여 5G NR 기술은 밀리미터파(millimeter wave) 대역을 포함하는 것이 특징이다. 3GPP에서는 <표 2-1>과 같이 FR1과 FR2 주파수 대역을 정의하고 있다.

<표 2-1> 3GPP 주파수 정의

| Frequency range designation | Corresponding frequency range |
|-----------------------------|-------------------------------|
| FR1 | 450 ~ 6000 MHz |
| FR2 | 24.25~52.6 GHz |

밀리미터파 대역의 과거 역사를 살펴보면, 1990년대 후반에 28 GHz 대역의 LMDS (Local Multi-point Distribution Service)의 상용화 시도가 있었으나, 당시 기술적 한계와 비용 문제로 대중화되지 못한 사례가 있다. 하지만 이후 CMOS 기반의 밀리미터파 IC 기술의 발달과 더불어 핫스팟 (Hot Spot) 지역에서는 초고속 이동통신망에 적용이 가능하다는 특성을 이용하여 5G 이동통신에 적용되고 있다. 이에 따라 2015년 11월 스위스 제네바에서 개최된 WRC-15에서는 <표 2-2>와 같이 11개 대역으로 5G 후보 주파수 대역이 발표되었다. 최종 선정을 위해서는 주파수 사용에 따른 간섭 분석을 수행한 후 2019년 WRC-19에서 최종 확정될 예정이다. 이에 ITU-R SG3에서는 공유파라미터 연구와 ITU-R TG5/1에서 공유연구를 위해, 한국의 주도하에 기존의 P.1238과 P.1411 모델을 해당 대역까지 확장하였다(2017년). 이에 따라 3GPP에서는 5G NR을 위한 주파수 대역을 다음과 같이 최종 정의하였다.

<표 2-2> WRC-15에서 발표한 5G 밀리미터파 후보 주파수 대역

| Usage scenarios | WRC-15 후보 주파수 대역 |
|-----------------|---|
| 30 GHz 이하 대역 | 24.25 ~ 27.5 GHz |
| 30~40 GHz 대역 | 31.8~33.4 GHz 37~40.5 GHz |
| 40~50 GHz 대역 | 40.5~42.5 GHz 42.5~43.5 GHz 45.5~47 GHz 47~47.2 GHz 47.2~50.2 GHz |
| 50~60 GHz 대역 | 50.4~52.6 GHz |
| 60 GHz 이상 대역 | 66~76 GHz 81~86 GHz |

<표 2-1>과 <표 2-2>를 비교하면 52.6GHz 이상의 경우 아직까지 밀리미터파 기술의 한계로 이동통신에 직접적으로 사용되지 못하고 있음을 알 수 있다. 그 이상의 대역은 향후 5G 이후에서 논의될 예정이다. <표 2-3>에서는 3GPP에서 구체적으로 정의하고 있는 NR 주파수 대역의 명칭을 보여주고 있다. 접두사(prefix) ‘n’을 사용하여 NR에 대한 주파수 대역임을 명시하기로 하였으며, 6 GHz 이하 대역에서 n78 대역은 우리나라에서 5G 주파수 후보대역으로 주파수 할당한 대역이다. 6 GHz 이상 대역에서는 n257 대역이 국내 5G 주파수 대역으로 할당되었다. n78과 n257 대역 모두 2018년 6월 경매가 완료되어 국내 이동통신 3사에게 할당되었다. 참고로 n80에서 n84 대역은 SUL (Supplemental UL)라고 부르며, 기존 LTE FDD 대역의 상향링크 대역 혹은 TDD 대역의 상향링크로 정의하였다. SUL 대역의 목적은 FR2의 밀리미터파 대역에 대한 상향링크 커버리지의 문제를 해결하기 위해 기존 LTE 상향링크 주파수 대역을 NR 상향링크 주파수 대역으로 공유하여 사용하기 위함이다.

<표 2-3> 3GPP FR1 주파수 대역

| NR 동작주파수 대역 명칭 | 해당하는 주파수 범위 | | 듀플렉싱 |
|-------------------|-----------------|-----------------|------|
| | 업링크 | 다운링크 | |
| n1 | 1920 - 1980 MHz | 2110 - 2170 MHz | FDD |
| n2 | 1850 - 1910 MHz | 1930 - 1990 MHz | FDD |
| n3 | 1710 - 1785 MHz | 1805 - 1880 MHz | FDD |
| n5 | 824 - 849 MHz | 869 - 894 MHz | FDD |
| n7 | 2500 - 2570 MHz | 2620 - 2690 MHz | FDD |
| n8 | 880 - 915 MHz | 925 - 960 MHz | FDD |
| n20 | 832 - 862 MHz | 791 - 821 MHz | FDD |
| n28 | 703 - 748 MHz | 758 - 803 MHz | FDD |
| n38 | 2570 - 2620 MHz | | TDD |
| n41 | 2496 - 2690 MHz | | TDD |
| n50 | 1432 - 1517 MHz | | TDD |
| n51 | 1427 - 1432 MHz | | TDD |
| n66 | 1710 - 1780 MHz | 2110 - 2200 MHz | FDD |
| n70 | 1695 - 1710 MHz | 1995 - 2020 MHz | FDD |
| n71 | 663 - 698 MHz | 617 - 652 MHz | FDD |
| n74 | 1427 - 1470 MHz | 1475 - 1518 MHz | FDD |
| n75 | N/A | 1432 - 1517 MHz | SDL |
| n76 | N/A | 1427 - 1432 MHz | SDL |
| n77 | 3300 - 4200 MHz | | TDD |
| n78 | 3300 - 3800 MHz | | TDD |
| n79 | 4400 - 5000 MHz | | TDD |
| n80 | 1710 - 1785 MHz | N/A | SUL |
| n81 | 880 - 915 MHz | N/A | SUL |
| n82 | 832 - 862 MHz | N/A | SUL |
| n83 | 703 - 748 MHz | N/A | SUL |
| n84 | 1920 - 1980 MHz | N/A | SUL |

<표 2-4> 3GPP FR2 주파수 대역

| NR 동작주파수 대역 명칭 | 해당하는 주파수 범위 | 듀플렉싱 |
|-------------------|-------------------|------|
| n257 | 26500 - 29500 MHz | TDD |
| n258 | 24250 - 27500 MHz | TDD |
| n260 | 37000 - 40000 MHz | TDD |

제2절 5G 국제 표준화 및 정책 동향

2.2.1 ITU 표준화 동향

5G 이동통신 표준은 국제표준화 기구인 ITU-R에서 담당하고 있으며, 일반적인 표준화 절차는 다음과 같다.

- (1단계) 표준권고를 개발하기 위해 ITU-R에서 전체 시스템의 틀과 목적에 대한 권고와 요구사항 및 요구사항 충족 여부를 판단하는 보고서를 개발
- (2단계) 표준화 단체⁴⁾ 및 국가/지역 SDO⁵⁾(Standards Development Organization)는 후보 기술을 제안
- (3단계) ITU-R이 후보 기술 중 일부를 선정하여 국제 표준으로 채택

이러한 표준화 절차에 따라 2015년 10월말 ITU-R은 4G 이후의 5G 이동통신을 IMT-2020이라 명명하고, 이에 대한 표준화 원칙과 절차를 결의 65에서 제정하였다. 또한 5G 이동통신에 대한 비전과 요구사항을 정리한 ITU-R 권고 M.2083을 2015년 9월에 고시하였다. 이 권고를 기반으로 2017년 2월에 13개의 5G 기술성능 요구사항(TPR; Technical Performance Requirements, <표 2-1>)이 개발되었고, 2017년 6월 WP5D 27차 회의에서 5G 후보기술 평가방법 및 기준과 후보기술 제안에 대한 템플릿(template)이 승인되었다. 이후 다양한 표준화 단체 및 국가와 지역의 SDO가 후보기술을 제안하도록 일정 (2017년 10월 ~ 2019

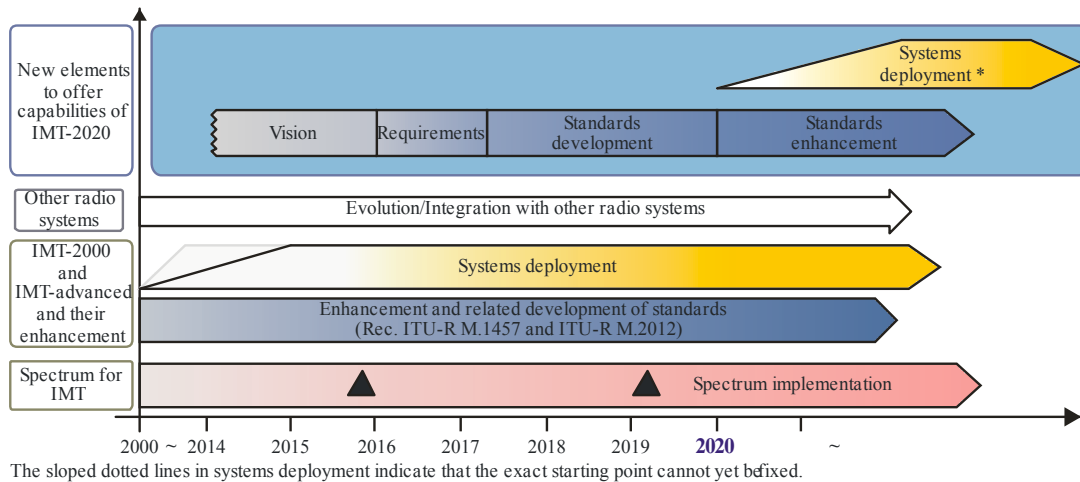
4) 3GPP (3rd Generation Partnership Project)와 IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) 등 de facto 표준화 단체이다.

5) 대표적인 국가 및 지역의 SDO: TTA (Telecommunications Technology Association, 한국), ARIB (Association of Radio Industries and Businesses, 일본), CCSA (China Communications Standards Association, 중국), ETSI (European Telecommunications Standards Institute, 유럽), TTA (Telecommunication Industry Association, 미국), TTC (Telecommunication Technology Committee, 일본) 등

년 6월)을 명시하고, 제안한 기술에 대한 평가와 채택 (2018년 10월 ~ 2020년 6월)하는 과정을 통해, 2020년까지 5G 이동통신에 대한 무선접속 기술 표준 개발을 완료하고 주파수는 WRC-15와 WRC-19를 통해 할당하며 상용화는 2020년 이후 (2020년 이전에도 5G TPR을 만족하는 시스템 설치가 가능)로 <그림 2-6>과 같다.

<표 2-5> 5G의 기술성능 요구사항(TPR)

| 항목 | 기준 | 평가방법 | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---|----------|--------|-----------------------|-----|------|--------------------|-------|------|--------------|------|-------|------------|
| Peak data rate [Gbit/s] | Downlink : 20, Uplink : 10 | Analytical | | | | | | | | | | | | |
| Peak spectral efficiency[bit/s/Hz] | Downlink : 30, Uplink : 15 | Analytical | | | | | | | | | | | | |
| User experience data rate [Mbit/s] | Downlink : 100, Uplink : 50 | Analytical (single band & single layer), Simulation (multi-layer) | | | | | | | | | | | | |
| 5th percentile user spectral efficiency [bit/s/Hz] | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Test environment</th><th>Downlink</th><th>Uplink</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Indoor Hotspot – eMBB</td><td>0.3</td><td>0.21</td></tr> <tr> <td>Dense Urban – eMBB</td><td>0.225</td><td>0.15</td></tr> <tr> <td>Rural – eMBB</td><td>0.12</td><td>0.045</td></tr> </tbody> </table> | Test environment | Downlink | Uplink | Indoor Hotspot – eMBB | 0.3 | 0.21 | Dense Urban – eMBB | 0.225 | 0.15 | Rural – eMBB | 0.12 | 0.045 | Simulation |
| Test environment | Downlink | Uplink | | | | | | | | | | | | |
| Indoor Hotspot – eMBB | 0.3 | 0.21 | | | | | | | | | | | | |
| Dense Urban – eMBB | 0.225 | 0.15 | | | | | | | | | | | | |
| Rural – eMBB | 0.12 | 0.045 | | | | | | | | | | | | |
| Average spectral efficiency [bit/s/Hz/TRxP] | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Test environment</th><th>Downlink</th><th>Uplink</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Indoor Hotspot – eMBB</td><td>9</td><td>6.75</td></tr> <tr> <td>Dense Urban – eMBB</td><td>7.8</td><td>5.4</td></tr> <tr> <td>Rural – eMBB</td><td>3.3</td><td>1.6</td></tr> </tbody> </table> | Test environment | Downlink | Uplink | Indoor Hotspot – eMBB | 9 | 6.75 | Dense Urban – eMBB | 7.8 | 5.4 | Rural – eMBB | 3.3 | 1.6 | Simulation |
| Test environment | Downlink | Uplink | | | | | | | | | | | | |
| Indoor Hotspot – eMBB | 9 | 6.75 | | | | | | | | | | | | |
| Dense Urban – eMBB | 7.8 | 5.4 | | | | | | | | | | | | |
| Rural – eMBB | 3.3 | 1.6 | | | | | | | | | | | | |
| Area traffic capacity | 10 [Mbps/s/m ²] in the Indoor Hotspot | Analytical | | | | | | | | | | | | |
| Latency [ms] | (User plane) 4 ms for eMBB and 1 ms for URLLC (Control plane) 20 ms (encouraged to consider 10 ms). | Analytical | | | | | | | | | | | | |
| Connection density | 1,000,000 [Device/km ²] | Simulation | | | | | | | | | | | | |
| Energy efficiency | Inspection to eMBB | Inspection | | | | | | | | | | | | |
| Reliability | For Urban macro-URLLC 1-10 ⁻⁵ success probability of transmitting a data packet of size 32bytes bytes within 1ms | Simulation | | | | | | | | | | | | |
| Mobility [km/h] | For Rural eMBB 500 | Simulation | | | | | | | | | | | | |
| Mobility interruption time | minimum 0 [ms] =>eMBB & URLLC | Analytical | | | | | | | | | | | | |
| Bandwidth | At least 100MHz up to and including 1GHz (above 6GHz) | Inspection | | | | | | | | | | | | |



▲ : Possible spectrum identification at WRC-15 and WRC-19

* : Systems to satisfy the technical performance requirements of IMT-2020 could be developed before year 2020 in some countries.
: Possible deployment around the year 2020 in some countries (including trial systems)

M.2083-05

<그림 2-6> ITU-R의 IMT-2020 표준화 일정 [출처: ITU-R Rec. M.2083]

5G 후보기술에 대한 평가는 <표 2-5>의 성능요구사항 항목과 평가 방법에 대해 <표 2-6>의 이용 시나리오와 시험환경과의 조합에 따른 5가지 경우에 대해 다르게 진행된다. eMBB를 제외한 나머지 2개의 시나리오는 urban macro 환경에서 평가가 진행되고, 평가에 필요한 세부 파라미터 설정은 ITU-R Rep. M.2412에 기술되어 있다.

평가환경에 적용될 채널 모델은 3GPP, METIS (Mobile and wireless communications Enabler for the Twenty-twenty Information Society), MiWEBA(Millimetre-wave Evolution for Backhaul and Access), COST2100, IEEE 802.11, 5G Promotion Association in China 등의 기관, 단체, 프로젝트 그룹에서 3D 환경모델, spatial consistency and clusters, 광대역 및 다수의 안테나 배열 등을 고려하여 경로손실과 LOS(Line of Sight) 확률과 fast fading 모델로 5G의 다양한 환경을 모델링할 수 있도록 만든 것이다.

<표 2-6> 5G 이용 시나리오에 따른 시험환경

| Usage scenarios | eMBB | | | mMTC | URLLC |
|-------------------|--------------------------|--|------------------|-----------------------|------------------------|
| Test environments | Indoor Hotspot – eMBB(1) | Dense Urban – eMBB(2) | Rural – eMBB (3) | Urban Macro – mMTC(4) | Urban Macro – URLLC(5) |
| Channel model | InH_A, InH_B | Macro layer: UMa_A, UMa_B Micro layer: UMi_A, UMi_B | RMa_A, RMa_B | UMa_A, UMa_B | UMa_A, UMa_B |

InH: Indoor Hotspot, UMa: Urban Macro, UMi: Urban Micro, RMa: Rural Macro

또한, 5G 28 GHz 글로벌 확산을 위하여 2016년 12월에 구성한 협의체인 28 GHz 5G 프론티어 워크숍이 2018년 10월 ITU-R WP5D 31차 회의에서 열려, 우리나라의 28 GHz 경매 결과와 기지국, 단말기 출시에 필요한 기술기준 및 평가방법 등의 상용화 준비 현황에 대해 소개하고, 이에 따라 WP5는 안테나 일체형인 5G 기기의 간소화된 복사 시험방법을 마련해 주도록 3GPP에 연락문서를 송부하였다.

WRC-15 6 GHz 이하 IMT 대역의 공유연구도 계속 진행되었으나, 중국의 자국 위성업무 보호와 3.3 GHz와 4.8 GHz 대역의 5G 도입을 위한 우리나라, 프랑스 등의 입장 차이를 좁히지 못해 완화된 공유기준은 마련하지 못하고 기존 강화된 공유기준을 유지하도록 결론이 내려졌다.

2.2.2 3GPP 표준 동향

3GPP는 ARIB(일본), CCSA(중국), ETSI(유럽), ATIS(US), TTA(한국), TTC(일본) 등 각 나라의 표준화 단체로 구성된 3세대 파트너십 프로젝트를 의미한다. 3GPP는 1998년 12월에 각국 표준화 단체들이 ‘The 3rd Generation Partnership Project Agreement’에 협약함으로써 최초로

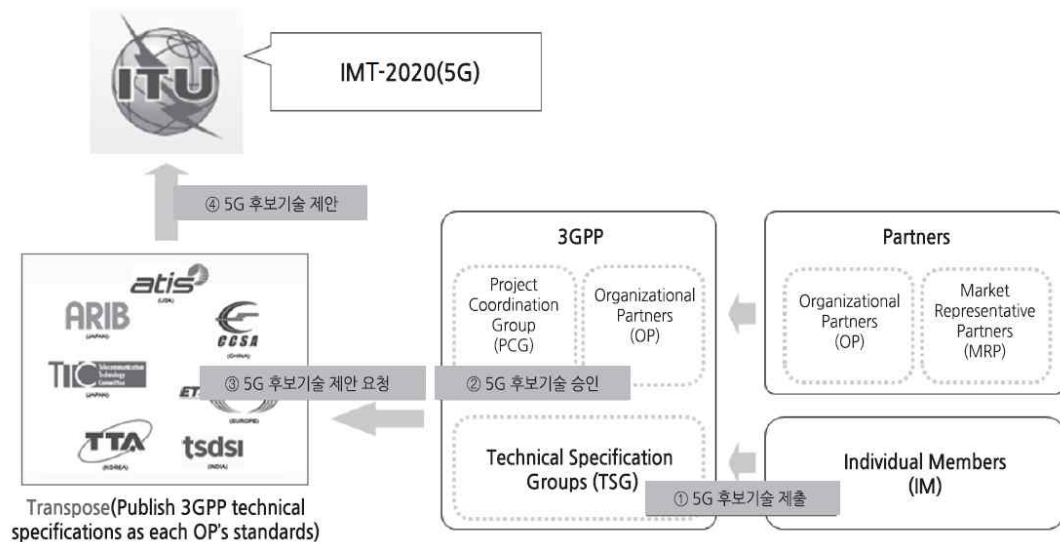
발족되었다. 초기에 3GPP의 업무 영역은 진화된 GSM (Global System for Mobile) 코어 네트워크와 무선접속기술 (UTRA; Universal Terrestrial Radio Access)를 기초로 3G 이동통신 시스템의 기술규격 (TS; Technical Specification)과 기술보고서(TR; Technical Report)를 준비하거나 승인하고 이를 유지하는 것이 주목적이었다. 그 이후 3GPP의 업무 영역이 확대되어 GSM 기반의 무선접속 기술인 GPRS (General Public Radio Service), EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution)을 비롯한 GSM 기술 규격과 기술보고서를 유지 및 발전시키는 것까지 포함하게 되었다.

3GPP는 기술 규격을 제정을 위한 TSG (Technical Specification Group)와 표준화 작업 일정 및 관리를 담당하고 있는 최상위 의사결정 기구인 PCG (Project Co-ordination Group)로 구성되어 있다. TSG는 크게 RAN (Radio Access Network), SA (Service & System Aspects)와 CT (Core network & Terminals) 3개로 나뉘며, 각각의 TSG는 주제에 따라 1~6개의 WG (Working Group)을 구성하여 구체적인 표준화 작업을 진행한다. 그리고 PCG는 국제 표준화 기구인 ITU에 <그림 2-7>에 나타낸 것처럼 표준화를 제안하는 역할도 하고 있다. 3GPP가 비법인 단체이므로 3GPP에서 승인한 표준이 ITU처럼 직접 국제표준의 지위를 가질 수는 없다. 하지만, 3GPP의 TSG에서 승인된 표준을 회원으로 가입한 7개의 표준화 기관에서 ITU에 제안하는 방식으로 사실상(de facto) 국제표준을 제정하는 역할을 하고 있다.

o 표준화 추진 일정

3GPP에서 5G 이동통신기술 표준화에 대한 논의는 2015년 2월 SA1 WG에서 시작하였고, 같은 해 12월에 개최된 TSG RAN 기술총회에서 5G 표준화에 대한 전반적인 일정과 개념을 합의하였다. 주요 특징으로는 LTE evolution과 병행하여 새로운 무선접속(NR) 기술 도입을 준비 중에 있다는 점이다. <그림 2-8>과 같이 기존 LTE 기술의 업그레이드는

2020년까지 Rel. 14 - Rel. 16까지 3개의 표준작업을 각각 15개월씩 진행하고, NR과 LTE-A pro에 대한 표준화도 Rel. 16과 같은 시기에 종료하도록 추진한다. 첫 번째 5G 표준인 Rel.15를 2018년 9월에 완료하였고, 이를 기반으로 2020년에 상용화가 가능하도록 할 계획이다.



<그림 2-7> 3GPP 규격의 ITU 표준화 후보기술 제안 절차 [출처:[2]]

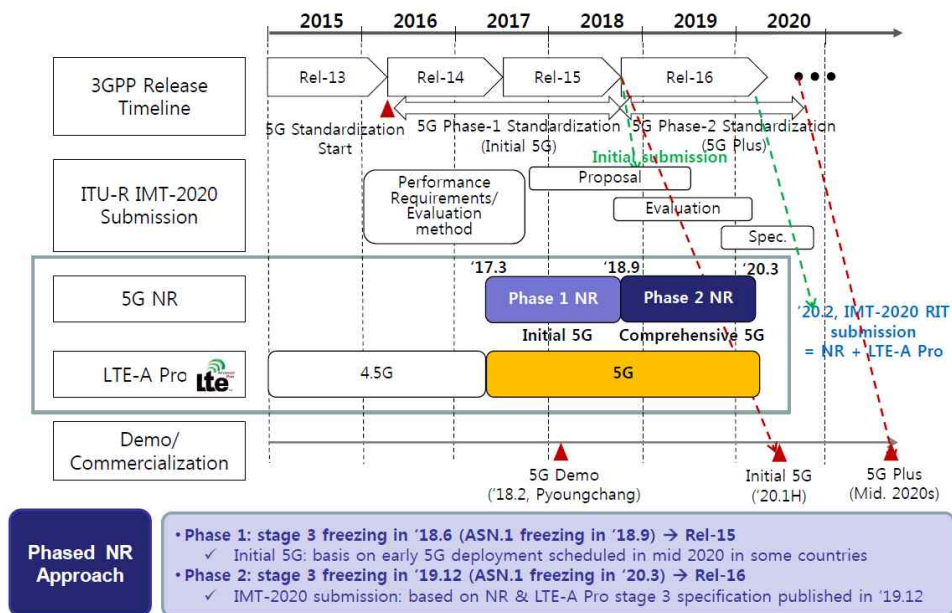


<그림 2-8> 3GPP의 Release 일정 [출처:[2]]

o TSG SA의 표준화 추진 현황

5G 서비스 요구사항을 정의하는 SA1은 2015년 3월 완료한 70개의 이용 사례를 포함한 기술보고서 TR 22.891을 제정하였다. 이들 이용 사례는 다시 네 가지 서비스 그룹, eMBB, mMTC(massive Internet of Things), URLLC(Critical Communications)으로 분류하고 각 그룹에 대한 세부적 요구사항을 정의하였다. 이들 그룹 모두와 연관되는 네트워크 운

용 관련 요구사항은 Network 이름으로 정의하여 총 4개의 Building Blocks(BB) 기술보고서(TR 22.861 ~ 864)가 2016년 9월 완료되었다. 5G 코어망 구조 기술을 연구하는 SA2는 상위 레벨 구조 정의를 위한 Key 이슈 21개를 도출하고 2016년 12월 TR 23.799에 포함시켰다. SA3은 보안 기술을 제공하는 그룹으로 Rel. 15의 보안표준인 TS 33.501을 지난 2018년 3월 완료하고 2018년 12월 v3.1까지 개정하였다. 또한 Rel. 16에 포함하기 위한 URLLC 보안 기술, vertical 및 LAN 서비스를 위한 보안 기술, 네트워크 슬라이싱을 위한 보안 기술 등의 17개 WI에 대한 표준화를 진행 중이다.

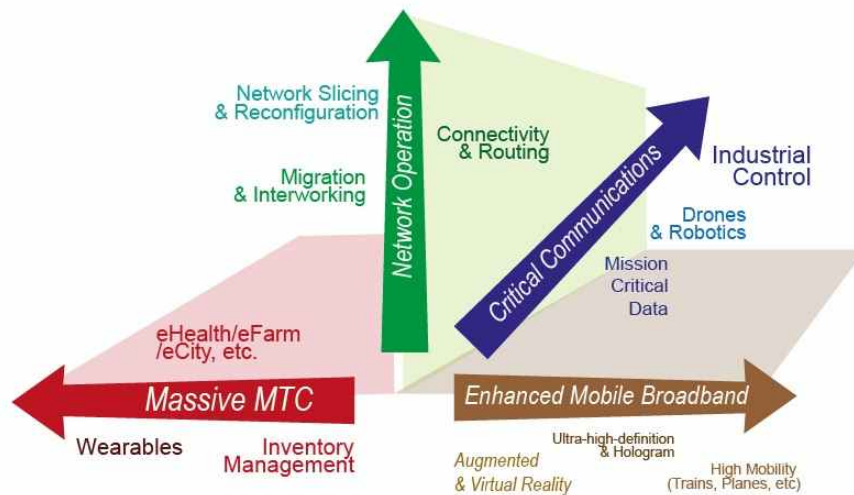


<그림 2-9> 3GPP의 5G 표준화 추진 일정 [출처:[3]]

o TSG RAN의 표준화 추진 현황

3GPP RAN에서의 5G이동통신 표준화 활동은 LTE Advanced Pro라는 기존 LTE 규격과의 후방호환성(backward compatibility)을 유지하며 표준화를 진행하는 방향과 NR이라는 이름으로 향후 개발할 규격과의 전방호환성(forward compatibility)을 고려한 표준화 작업이 함께 수행되고

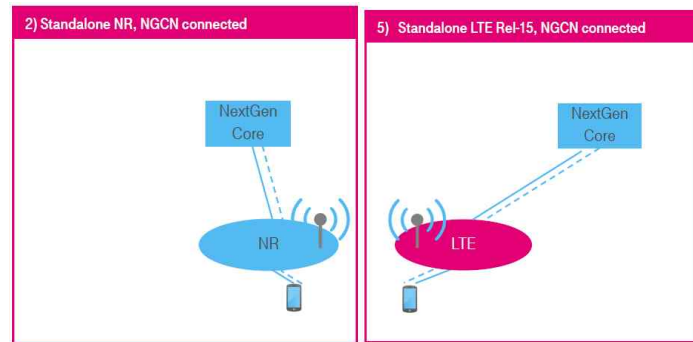
있다. NR의 개발은 <그림 2-9>에서 보듯이 2016년 3월 RAN에서 NR SI(Study Items)를 결정, RAN WG1에서 2017년 3월 목표로 SI 표준화 완료, 2017년 3월 NR Phase I 표준화 작업(Rel. 15) 수행 시작, 2018년 6월 Phase I 기술표준(TS; Technical Specification) 완성, 2018년 6월부터 Phase II 표준화 작업하여 2019년 12월 Phase II 규격 완성을 목표로 하고 있다.



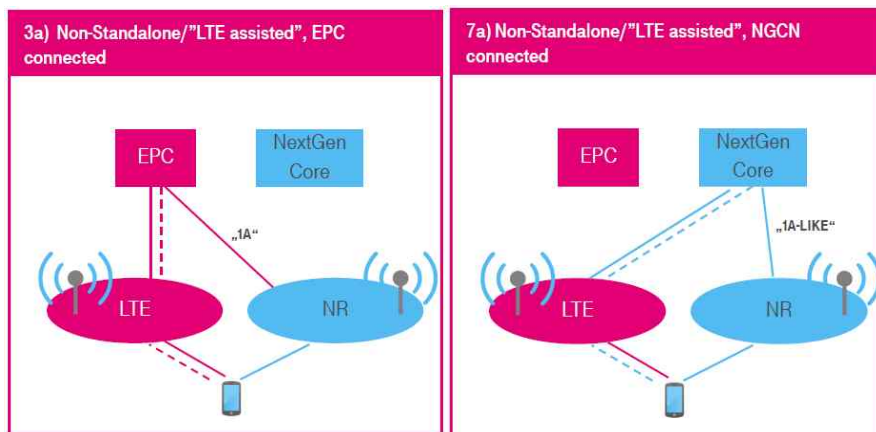
<그림 2-10> 3GPP SA1의 5G 서비스 요구사항[출처:<http://www.3gpp.org>]

RAN에서 고려중인 5G 네트워크 구축 시나리오는 NR의 구축 (deployment) 방식에 따라서 <그림 2-11>과 같이 기존 LTE 코어망인 EPC(Evolved Packet Core) 망과의 연결 방식에 따라 SA(Standalone)와 NSA(Non-Standalone)로 나눌 수 있다. SA는 5G 코어망인 EPC망에 LTE 진화 무선망 또는 5G 코어망에 NR 무선망을 직접 연결하는 방식이고, NSA(Non-Standalone)는 기존의 All-IP 기반의 EPC에서 진화된 EPC망에 LTE 진화무선망을 연결하거나, 5G 코어망에 LTE 진화 무선망과 NR 무선망을 동시에 연결하는 방식이다. 이때 제어 신호는 LTE 무선망을 통해 이뤄지는 방식이다. SA 시나리오의 경우는 신규 네트워크 수요가 발생하므로 4G망 구축에 있어서 후발 주자가 선호하는 방식

이고, NSA는 기존의 4G망 업그레이드를 통해 5G 서비스가 가능하므로 4G 사업자가 선호는 방식이다. 3GPP는 전방호환성을 위해 두 경우 모두를 표준화에서 고려하고 있으며, 이에 대한 세부 사항은 <그림 2-12>와 같다. eMBB 및 URLLC 서비스에 대한 NSA 표준을 먼저 완료하도록 계획되어 있고, mMTC는 Rel. 15에서 제외됨에 따라 NR 기반의 mMTC 기술 규격은 3GPP에서 Rel. 15 완료 시점인 2018년 6월 이후부터 논의되고 있다. 이에 따라 NR SA 표준은 2018년 6월 Stage 3 표준을 완료하였고, 2018년 9월 ASN.1(Abstract Syntax Notation) 완료예정에 있다. Phase 2 NR 표준은 Rel. 16 표준 발간 일정에 따라 2019년 12월 Stage 3 표준을 완료하고 2020년 3월 ASN.1 표준을 최종 완료할 계획이다.

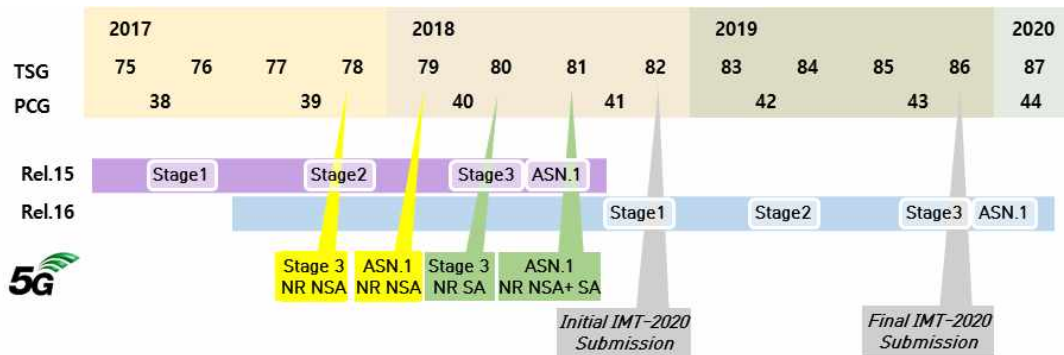


(a) 5G SA



(b) 5G NSA

<그림 2-11> NR을 고려한 5G 네트워크 아키텍처 [출처:[4]]



<그림 2-12> 5G NR 네트워크에 대한 3GPP 표준화 일정 [출처:[5]]

2.2.3 국내외 5G 정책 동향

<표 2-7>에서 보는 바와 같이 세계 각국은 5G 주도권 확보를 위해 치열하게 경쟁하고 있으며 국가적 차원에서 대형 R&D 프로젝트로 투자를 진행 중에 있다. 특히, 일본과 한국은 각각 2018년 2월 평창올림픽과 2020년 도쿄 올림픽을 5G의 시연 및 상용화 계기로 치열한 경쟁을 벌이고 있다. 우리나라의 경우 5G 조기상용화를 위해 2018년 12월 5G전파를 세계 최초로 발사하였을 뿐만 아니라 2019년 봄에 5G 단말을 출시하려고 하는 등 5G를 4차 산업혁명의 핵심인프라 역할을 할 수 있도록 정책적으로 노력하고 있다. 한편 전통적인 이동통신 강자인 유럽과 미국 역시 5G 주도권을 놓치지 않으려고 다양한 5G 정책을 진행 중에 있으며, 새롭게 떠오르는 중국은 하웨이, ZTE 등 기업을 통해 5G 상용화를 준비 중에 있다.

<표 2-7> 주요 국가별 5G 정책동향

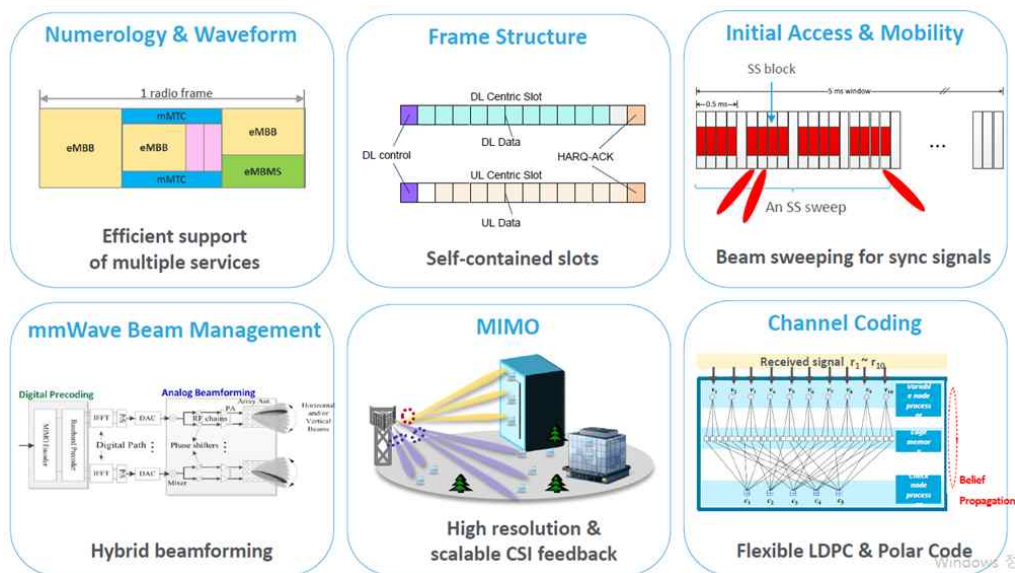
| 구분 | 주요 내용 |
|----|--|
| 한국 | <ul style="list-style-type: none"> - 가가코리아사업단 5G 실증서비스 연구 진행 중 - 2018년 2월 평창올림픽에서 5G 시연 (KT) - 과학기술정보통신부는 2019년 3월 세계 첫 상용화 목표를 제시하였으며, 2018년 6월 3.5GHz(280MHz 대역폭) 및 28GHz 대역(2,400MHz 대역폭)의 5G 주파수 경매에서 국내 이통3사에 주파수 경매 완료 - 2019년 3월 5G 단말기 출시 예정(삼성전자) |
| 중국 | <ul style="list-style-type: none"> - 정부주도로 기술/표준화/주파수 전략 수립하여 기지국 및 단말 분야의 경쟁력 확보를 위해 노력하고 있음 - 2016~2020년 5G에 5000억 위안(약 82조원) 투자하고 있으며, 2018년 5G 시범서비스, 2020년 주요 도시 상용화를 목표로 하고 있음 |
| 일본 | <ul style="list-style-type: none"> - 총무성 주도하에 2020년 5G 상용화를 목표로 5G 전략을 추진하고 있으며, 2020년 도쿄 올림픽에 맞춰 산학관 연계를 통해 5G 상용화를 목표로 함 - 2017년부터 5G의 여러 기술들을 통합해 실증 실험을 실시하고 있음 |
| 유럽 | <ul style="list-style-type: none"> - 2020년까지 5G 상용화를 목표로 METIS 프로젝트를 추진하고 있음 |
| 미국 | <ul style="list-style-type: none"> - Verizon은 2018년 하반기 밀리미터파 대역을 이용한 고정형 5G 서비스 상용화 예정 - AT&D는 애틀란트, 댈러스, 와코, 텍사스 등 4개 도시에 5G망을 구축하게 되고 발표함. - Sprint는 LG전자의 스마트폰을 이용하여 2019년 5G 서비스 시작할 것이라 발표하였으며, T-mobile과 합병을 추진하여 5G의 강자가 되고자 함 |

제3장 5G NR 기술개발 현황 조사·분석

제3장 5G NR 기술개발 현황 조사·분석

제1절 5G NR 기술 개요

본 절에서는 5G NR 기술의 주요 특징을 살펴본다. 5G NR 기술은 이름(New Radio)이 말해주는 바와 같이 새롭게 설계되고 있는 신규 무선접속 기술로서 향후 10년 이상 진화할 5세대 이동통신 기술의 기반이 되는 통신기술을 의미한다. 3GPP는 2015년 9월부터 채널모델, 성능, 요구사항 및 운영 시나리오, 요소기술들의 타당성 검증 등의 단계를 거쳐 2017년 12월 NSA (Non Stand-Alone) NR 표준에 대해 stage 3 표준을 최종 완료하였으며, 2018년 6월에는 SA(Stand-Alone) NR 표준에 대한 stage 3 표준을 완료하였다. 5G NR 기술의 특징은 <그림 3-1>의 6가지의 특징으로 분류할 수 있다.



<그림 3-1> 5G NR 기술의 대표적인 특징

3.1.1 신호파형과 다중접속 방식

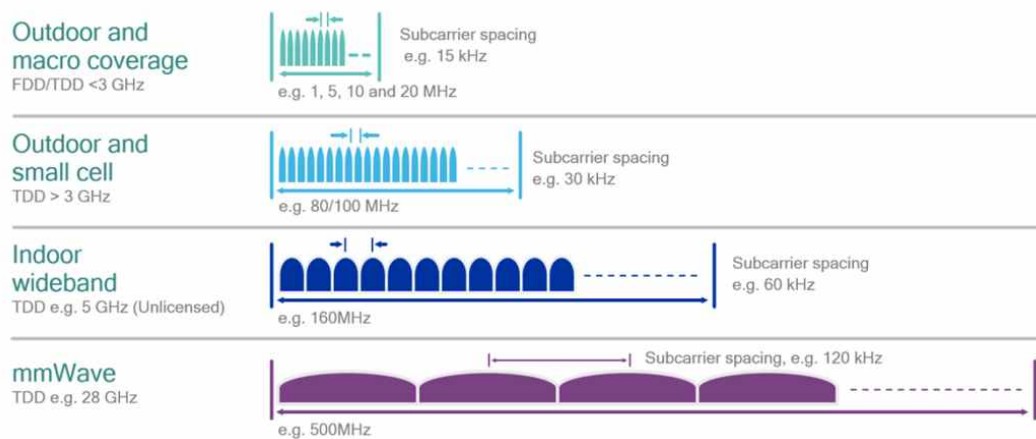
4G까지 이동통신 기술은 새로운 모뎀 (Modem) 및 다중접속 (Multiple Access) 기술의 등장에 힘입은 바가 크다. 예를 들어 2G에서 TDMA/CDMA기술, 3G에서 WCDMA기술, 4G에서 OFDM-MIMO 기술이 각 세대의 대표 모뎀 및 다중접속 기술이다. 하지만 4G에서는 등장한 OFDM 기술을 대체할 만한 모뎀기술의 부재로 5G에서도 OFDM 기술이 계속적으로 사용될 예정이다. OFDM 기술은 MIMO기술과 결합이 용이할 뿐만 아니라 높은 주파수 효율을 가지며 수신기 구조가 간단하다는 장점을 가진다. 또한 OFDM 기술은 다양한 서비스 요구사항에 따라 주파수 자원을 효율적으로 다중화할 수 있기 때문에 NR의 하향링크 다중접속 방식으로 채택되었다. 상향 링크의 경우에는 셀 배치 환경 등에 따라 OFDMA 기술 또는 4G에서 사용한 SC-FDMA(Single Carrier - Frequency Division Multiple Access) 기술을 사용할 수 있도록 하였다. SC-FDMA 기술은 단말의 PAPR (Peak to Average Power Ratio)을 줄일 수 있는 장점이 있다. 따라서 5G NR을 지원하는 단말은 두 가지 상향링크 전송 방식 모두를 필수적으로 지원해야 한다. 예를 들어 소형 셀의 경우 상향링크 전송출력이 작으므로 OFDMA를 사용하고 셀 반경이 큰 매크로(Macro) 셀의 경우 SC-FDMA를 선택적으로 적용하여야 한다.

4G LTE의 OFDM과 5G NR OFDM의 가장 큰 차이는 유연성 (Flexibility)에 있다. LTE의 경우에는 시스템의 최대 대역폭이 20 MHz로 한정되어 있었기 때문에 OFDM을 구성하는 부반송파 간격(subcarrier spacing)은 15kHz로 일정하였다. 하지만 NR 표준에서는 5MHz부터 최대 400MHz까지의 유연한 채널 대역폭을 지원하여야 하므로 하나의 부반송파 간격을 통해 전체 대역폭을 처리하기에는 FFT 처리 복잡도를 감당하기가 어려워졌다. 따라서 주파수 대역폭에 따라 부반송파 크기를 적절히 조절하는 방식을 채용하였고, 현재 NR phase 1 표준에서 사용하는 최대 FFT 크기는 4096개로 정할 수 있게 되었다. <표 3-1>은 5G NR phase

1의 부반송파 간격과 이에 따른 OFDM 심볼 길이를 나타내고 있다. 각 부반송파 간격은 2의 승수로 확장되며, 이에 반비례하여 심볼 길이가 줄어든다. FR1 주파수 대역에서는 대역폭에 따라 15 kHz, 20 kHz, 60 kHz의 부반송파 간격을 사용하도록 되어 있으며, FR2에서는 60 kHz와 120 kHz를 데이터 채널로 사용하며, 240 kHz는 동기신호(Synchronization signal)을 위해 사용할 수 있다. <그림 3-2>에 각각의 서비스 별 부반송파 간격의 차이에 따른 OFDM 파형의 차이를 보여준다.

<표 3-1> 5G NR phase 1의 OFDM 부반송파 간격

| 부반송파간격: $f_s \times 2^u$ ($f_s: 15\text{kHz}$, $u=\{-2,0,1,2,\dots,5\}$) | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|------|------|
| u | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 서브캐리어간격 (kHz) | 15 | 30 | 60 | 120 | 240 | 480 |
| OFDM 심볼길이 (usec) | 66.67 | 33.33 | 16.67 | 8.333 | 4.17 | 2.08 |



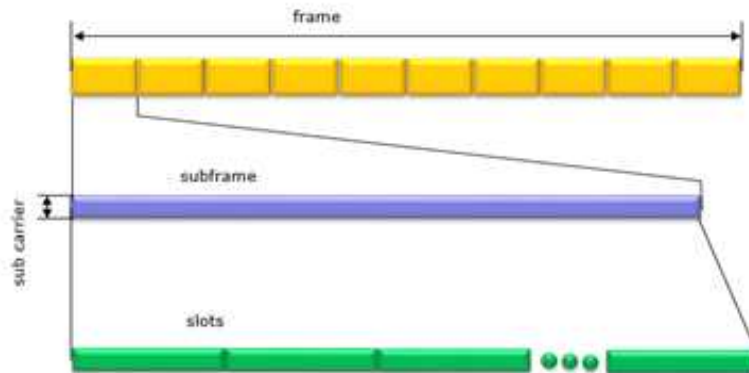
<그림 3-2> 서비스별 OFDM 차이(출처:Qualcomm)

3.1.2 NR Numerology와 Frame 구조

NR 표준에서는 스케줄링의 기본 단위를 슬롯으로 정의하고 한 슬롯에 들어가는 OFDM 심볼의 개수를 부반송파 간격과 무관하게 14개의 심볼로 제한하고 있다. <그림 3-3>은 프레임 구조를 보여준다. 하나의 프레임은 10 msec 길이로 1 msec 길이를 갖는 10개의 subframe으로 구성된다. 하나의 subframe은 2^n 개의 슬롯을 가질 수 있다. 여기서 n은 0에서 4까지 변할 수 있으므로 1, 2, 4, 8, 16개의 슬롯이 가능하다. NR에서는 슬롯을 기본단위로 한 슬롯에 들어가는 OFDM 심볼의 개수를 부반송파 간격과 무관하게 14 심볼로 제한하였다. <표 3-2>는 5G NR phase 1의 Numerology에 따른 슬롯 특성의 변화를 보여준다. NR표준은 다양한 슬롯길이, 미니슬롯의 사용, 그리고 서로 다른 부반송파 간격을 사용하는 OFDM을 사용함으로써 eMBB, URLLC 등 서로 다른 서비스 요구사항을 맞출 수 있는 유연성을 제공하고 있다.

<표 3-2> 5G NR phase 1의 Numerology

| Numerology | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------------------|-----------|-------------|--------------|---------------|----------------|
| subcarrier spacing | 15kHz | 30kHz | 60kHz | 120kHz | 240kHz |
| 1slot 간격(msec) (심볼수) | 1 (14) | 0.5 (14) | 0.25 (14) | 0.125 (14) | 0.0625 (14) |
| sub-frame 수 | 10 | 20 | 40 | 80 | 160 |
| subframe당 slot 수 | 1 | 2 | 4 | 8 | 16 |
| OFDM심볼 간격 (usec) | 66.67 | 33.33 | 16.67 | 8.33 | 4.17 |



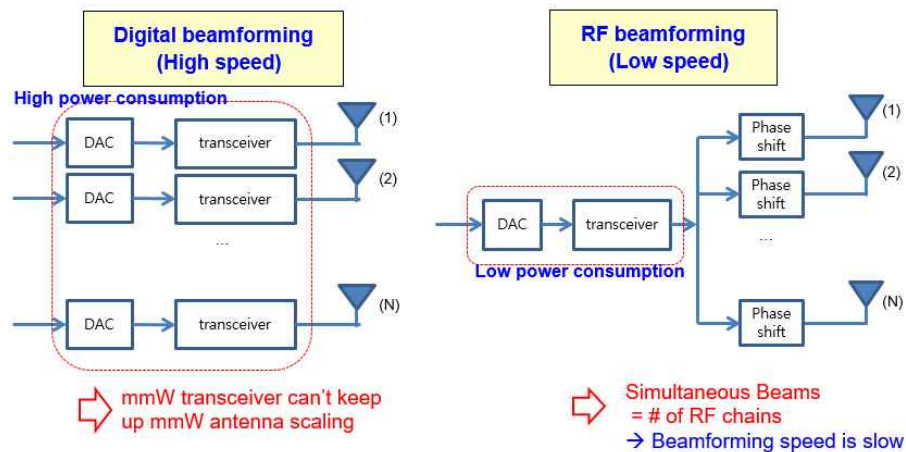
<그림 3-3> NR frame 기본 구조

<표 3-2>와 같이 넓은 부반송파 간격을 사용하면 한 슬롯의 길이가 반비례하여 짧아지기 때문에 자연스럽게 무선구간에서의 전송 지연을 줄일 수 있다. 또한 URLLC에 대한 효율적인 지원을 위해 슬롯 단위의 스케줄링 이외에 미니슬롯 단위 스케줄링도 지원하고 있다.

3.1.3 빔포밍 기술

5G NR 기술의 대표적인 특성은 바로 빔포밍기술이다. 일반적으로 빔포밍 기술은 기저대역(baseband) 신호에 복소수 가중치를 곱하여 신호의 진폭과 위상을 변화시키는 디지털 빔포밍과 RF회로의 위상 천이기를 이용하는 아날로그 빔포밍 기법으로 구분될 수 있다. 디지털 빔포밍은 보다 정교하게 빔포밍이 가능하다는 장점이 있으나 안테나 별로 송수신기가 필요하여 하드웨어 구현이 어려워진다. <그림 3-4>에 디지털 빔포밍과 아날로그 빔포밍의 특징이 나와 있다. 5G NR 기지국 중 FR2 대역을 사용하는 기지국의 경우에는 디지털빔포밍을 사용하기에는 송수신부의 크기가 안테나 크기에 비해 크고, 전력소모가 크기 때문에 어렵다. 따라서 상대적으로 개발이 편리한 아날로그 빔포밍을 사용하는 편이 유리한데 이 경우 동시 빔이 1개이므로 단말기와 빔을 일치시키는 시간이 오래

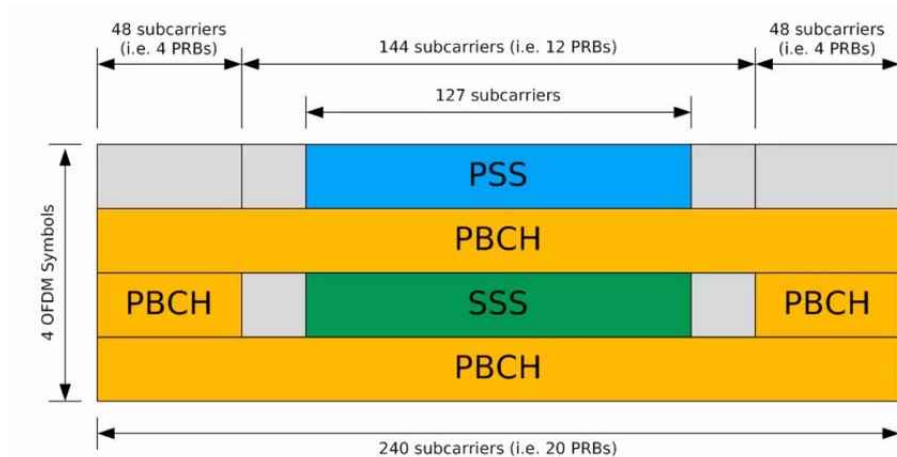
결린다는 단점이 있다. 하지만 FR2 대역은 핫 스팟 위주로 UE 갯수가 많지 않는 환경을 가정할 수 있으므로 NR phase 1에서는 아날로그 빔포밍을 이용하는 것이 가능하다. 이에 5G NR phase 1 표준에서는 아날로그 빔포밍 기술을 채용한 빔운영 (beam management) 기술을 정의하고 있다.



<그림 3-4> 디지털 빔포밍과 아날로그 빔포밍의 차이

5G NR에서는 빔운영을 위해서 동기신호 (Synchronization Signal: SS) 블록이 정의된다. LTE의 경우 동기과정은 하향링크에서 무지향성으로 방송되는 2개의 물리계층 신호인 PSS (Primary Synchronization Signal)와 SSS (Secondary Synchronization Signal)가 사용된 것처럼 5G NR에서는 SS 블록이 이 역할을 수행한다. SS 블록은 <그림 3-5>와 같이 4개의 OFDM 심볼 (주파수축에서는 240개의 부반송파)로 구성되며, 최적의 빔포밍을 위해 PSS, SSS, PBCH (Physical Broadcast Channel)로 구성된다. LTE 표준에서는 PSS, SSS, PBCH를 5 msec마다 한번 전송한 것과 비교하여 5G NR표준에서는 5 msec 동안 SS블록을 최대 64번 전송할 수 있다. 다수의 SSB는 5 msec 시간 내에 서로 다른 전송 빔으로 전송되며, 단말은 전송에 사용되는 특정 하나의 빔을 기준

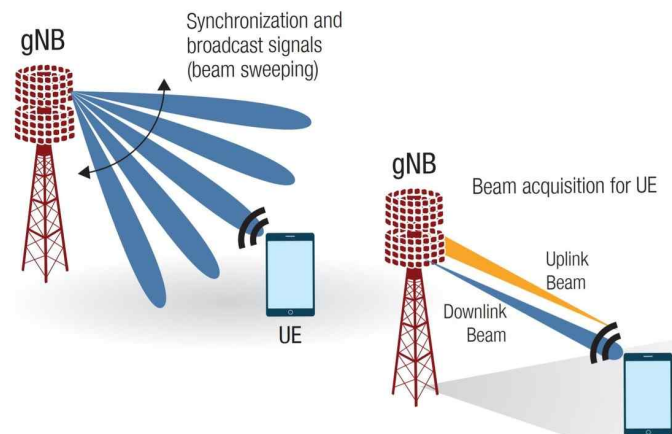
으로 볼 때 20 msec의 주기마다 SSB가 전송된다고 가정하고 빔을 검출한다. 5 msec 시간 내에서 SS블록을 사용하는 빔의 개수는 주파수 대역이 높을수록 큰 값을 사용할 수 있다. 3 GHz 이하에서는 최대 4개의 SSB 전송이 가능하며, 3~6 GHz까지의 주파수 대역에서는 최대 8개, 6GHz 이상에서는 최대 64개의 서로 다른 빔을 사용하여 SS블록을 전송한다.



<그림 3-5> SS 블록의 구조

5G NR 기지국인 gNB와 단말UE 간의 초기 접속 과정은 <그림 3-6>과 같다. gNB는 SS블록을 각 빔별로 전송하는 ① 빔스위핑 (beam sweeping) 과정을 진행한다. UE는 수신된 신호의 수신전력을 측정하는 ② beam measurement 과정을 거치는데 이 때 RSRP (Reference Signal Received Power), RSRQ (Received Signal Strength Indicator), SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio)등을 이용한다. ③ UE는 beam determination 과정을 통해 최적의 빔 방향을 가지는 SS블록을 찾아낸다. 마지막으로 ④ beam reporting과정을 통해 UE는 검출된 SSB와 연결된 랜덤접속채널 자원을 통해 프리앰블을 전송함으로써 어떤 빔을 통해 송수신을 수행할지에 대한 정보를 간접적으로 기지국과 주고받게 된다. NSA와 SA 모드 빔스위칭, 빔 측정, 빔 결정 가정은 동일하다. 하지

만 빔 reporting가정에서는 NSA 인 경우 LTE 채널을 이용하여 최적의 빔을 보고할 수 있기 때문에 차이가 있다.

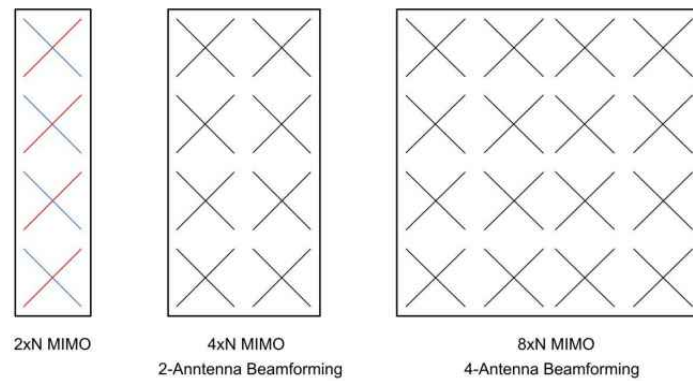


| BEAM SWEEP and BEAM MEASUREMENT | BEAM DETERMINATION | BEAM REPORTING | |
|--|--|---|---|
| | | Standalone | Non-Standalone |
| <ul style="list-style-type: none"> gNBs transmit DL signals UEs receive DL signals | <p>UE selects the best beam</p> <p>Decision may be based on RSRP/RSRQ/SINR</p> | <p>gNB schedules <i>multiple</i> directional RACH opportunities</p> | <p>gNB schedules <i>a single</i> directional RACH opportunities</p> |

<그림 3-6> 5G NR 빔포밍 절차

3.1.4 기지국 안테나 기술

5G NR기술의 등장과 함께 이동통신 기지국 안테나 기술에서의 큰 변화가 예상된다. 이동통신 기지국 안테나의 일반적인 형태는 <그림 3-7>과 같다. 안테나 배열의 형태를 살펴보면 종래의 수동형(passive) 기지국 안테나의 경우 여러 개의 교차편파(cross polarization)된 방사소자가 수직으로 배열된 구조를 갖는다. <그림 3-7>의 왼쪽에 위치한 2xN MIMO 안테나의 경우 두 개의 방사소자가 서로 90° 회전되어 있어 다른 편파특성을 갖는다. 동일한 편파특성을 갖는 수직 배열된 두 개의 안테나에 서로 다른 신호가 입력되어 2xN MIMO⁶⁾ 안테나를 구성한다. 이러한 교차편파 구조를 통해 안테나 크기의 변화없이 2x2 MIMO 혹은 TX Diversity를 쉽게 구현할 수 있다. 마찬가지로 <그림 3-7>의 가운데 기지국 안테나는 4xN MIMO를 오른쪽 기지국 안테나는 8xN MIMO 안테나를 구성할 수 있다.



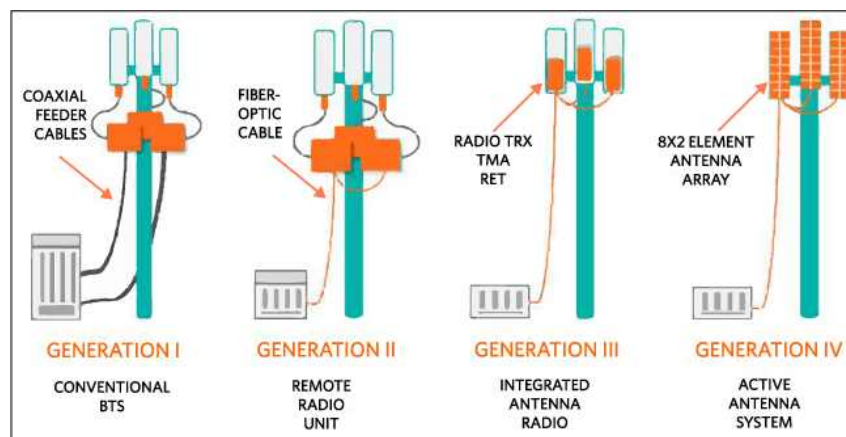
<그림 3-7> 기지국 안테나의 일반적인 구성

<그림 3-7>의 안테나의 경우 MIMO 이외에도 빔포밍 기능을 구현할 수 있다. 그러나 빔포밍의 경우 동일한 편파 (이 경우 +45° 또는 -45°)

6) N을 지정하지 않은 것은 N의 경우 단말기의 MIMO 구성에 따라 1, 2, 4 등으로 값이 달라지기 때문이다.

를 갖는 복수개(2개 이상)의 안테나가 필요하므로 <그림 3-7>의 왼쪽 기지국의 경우 빔포밍이 불가능하며 가운데 기지국은 2개의 안테나를 이용한 빔포밍, 오른쪽 기지국은 4개의 안테나를 이용한 빔포밍이 가능하다. 2xN 빔포밍을 사용하는 경우 2개의 독립적인 빔을 구현할 수 있으므로 2개의 MU-MIMO가 가능하다.

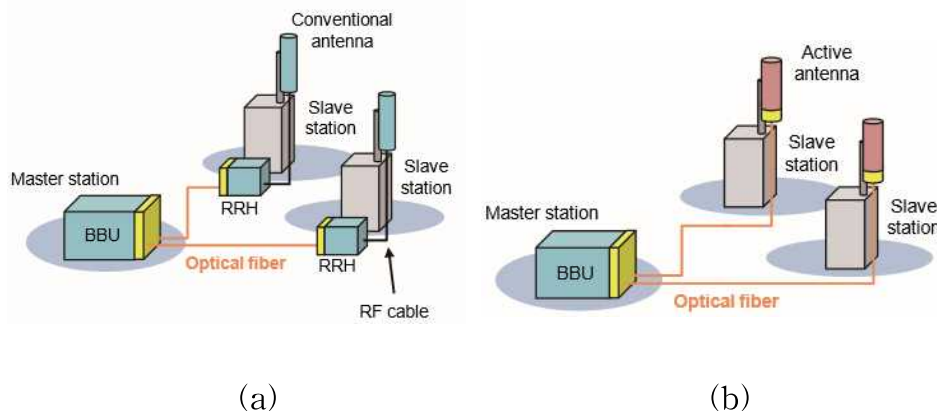
다음으로 기지국 안테나와 RF 송수신부가 어떻게 연결되는지 살펴보자. 이동통신 기술의 발전 즉, 기지국의 지능화, 소모셀(small cell)화 등으로 인해 기지국 안테나와 RF송수신부는 과거와 같이 분리되지 않고 <그림 3-8>과 같이 통합되는 구조로 발전하고 있다. 우리나라의 경우 현재는 2세대 기지국이 다수를 차지하고 있으나, 3GPP의 Rel.12 이후로 점점 3세대 이후의 기지국 형태로 발전될 전망이다.⁷⁾ 2세대와 3세대 기지국 안테나의 차이는 RF 송수신부와 안테나가 결합되는 것으로 이를 AAS 기지국이라 부른다. 기지국 안테나가 AAS화 되면 기지국 크기와 소모전력이 감소될 뿐만 아니라 RF송수신부와 안테나간의 동축케이블 손실도 작아지게 된다. 한편 밀리미터파 대역으로 동작주파수가 올라가게 되면 기지국 구성은 자연스럽게 4세대 AAS로 발전될 것이다.



<그림 3-8> 세대별 기지국 안테나 기술의 발전

7) 기지국의 진화는 기술적인 발전 이외에도 AAS 기지국의 무게, 설치의 어려움, 기지국 설치 문화 역시 고려되어야 한다.

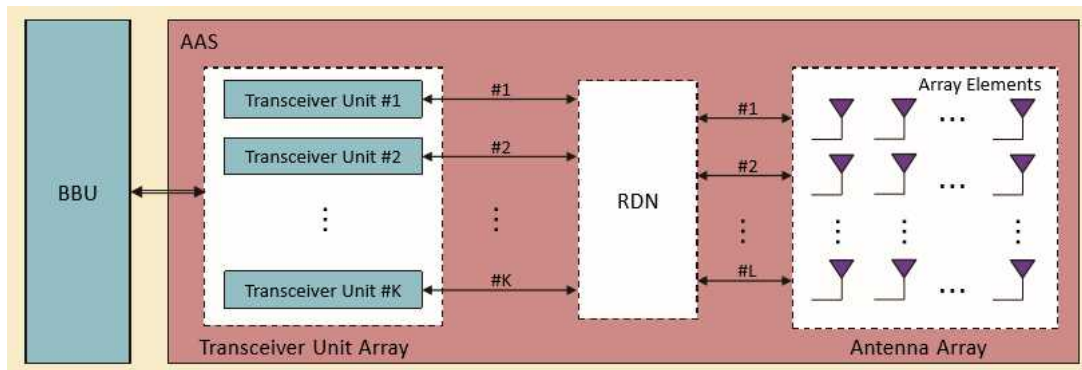
이에 따라 3GPP에서는 AAS를 갖는 기지국의 기술적인 규격을 논의하고 있다. <그림 3-9(a)>의 경우 Master 기지국과 Slave 기지국 간에 광케이블로 연결된 2세대 기지국 구성을 보여준다. Slave 기지국에는 RRH (Remote Radio Head)가 있어 RRH와 기지국 안테나는 RF 케이블로 연결된다. 이 경우 안테나에 RF 측정단자를 부착하기 용이하므로 기존의 직결측정을 적용하는데 문제가 없다. 하지만 AAS를 갖는 Slave 기지국의 경우 안테나가 바로 광케이블로 Master 기지국에 연결되어 있으므로 RF 측정단자를 부착하기 어렵다. 이러한 AAS의 등장으로 AAS의 RF성능 측정 등을 위하여 3GPP에서는 2011년 9월부터 논의가 시작되어 최근 관련 측정규격이 TS 37.145로 발표된 바 있다. TS 37.145에 대한 자세한 설명과 무선국 검사에의 응용 등의 내용은 4장에서 기술할 예정이다.



<그림 3-9> 종래의 기지국과 AAS를 갖는 기지국의 비교

<그림 3-9>의 AAS의 기본적인 구성은 단말기와 통신 기능을 수행하는데 있어 디지털 송수신 신호를 처리하는 BBU (BaseBand Unit), BBU와 광케이블로 송수신신호를 주고받는 AAS로 구성되며, AAS는 K개의 송수신기, L개의 안테나 소자를 갖는 배열 안테나, 이 둘을 연결하는 RDN(Radio Distribution Network)로 구성된다. 보통 K보다 L이 크거나 같은데, 디지털 빔포밍을 사용하는 경우 K와 L이 같으나, 밀리미터파 대

역의 기지국 시스템은 안테나의 크기가 작으므로 빔포밍을 위하여 K 보다 L 이 큰 것이 보통이다. 이러한 경우 어느 위치에서 직결측정을 하느냐가 이슈가 되는데 3GPP 표준에서는 RDN 전단계에서 직결측정하도록 정하고 있다.



<그림 3-10> 3GPP에서 논의된 AAS의 구조

제2절 국내외 주요 제조사의 5G NR 개발 현황

본 절에서는 2017년 하반기 이후 국내외 주요 제조사의 5G NR 기술 개발 현황을 살펴본다.

3.2.1 국외 제조사의 무선설비 개발 현황

3.2.1.1 하웨이(Huawei)

5G 시대 들어 중국 기업이 부상하고 있다. 특히, 화웨이(Huawei)는 <그림 3-11>과 같이 2018년 2월 바르셀로나에서 열린 MWC (Mobile World Congress)에서 가정용 단말인 5G CPE(customer premises equipment)를 최초로 발표했다. 이는 3GPP 5G 규격을 따르는 화웨이의 Balong 5G01 칩셋을 사용하고 있으며, sub-6 GHz와 mmW 주파수 대역에서 단일 유저에 대해 최대 2.3 Gbps의 다운로드 성능을 가진다고 발표하였다.



<그림 3-11> 화웨이 소비자용 단말 5G CPE

또한 화웨이는 지난 2017년 LG 유플러스와 서울의 강남에서 진행 한 5G 광역 테스트를 통해 3.5 GHz 대역에서 1 Gbps, mmWave 대역에서 5 Gbps 이상의 초고속데이터 전송에 성공하였으며, 앞선 2017년 9월 독일의 도이치 텔레콤과 5G NR규격의 NSA에 기반 한 전송실험을 진행해 3.7 GHz 대역에서 2 Gbps와 3 msec의 저지연을 달성한 바 있다.

3.2.1.2 퀄컴

퀄컴은 지난 2017년 12월 AT&T, 차이나 모바일, SK 텔레콤 등과 함께 5G NR에 대한 시험 계획을 발표한 바 있다. 당시 sub-6 GHz 대역과 28, 39 GHz의 mmWave 대역에서 5G NR 기술 동작을 확인하는 것을 목표로 하였다. 이전에 퀄컴은 5G NR 구현을 위해 세계 최초의 상용 5G 모뎀칩인 스냅드래곤 X50을 발표하였으며, X50 5G 제품은 4G 이하의 무선기기에 대해서도 호환성을 가지며 5G NR 표준과 4G LTE를 하나의 칩으로 구현 가능하다. 이 칩을 기반으로 28 GHz 대역에서 다수의 100 MHz 반송파를 이용해 Gbps 급의 다운로드 속도를 달성하여 밀리미터 대역에서 고속 데이터 통신이 가능함을 보였다. 이미 20여개 글로벌 제조사가 2019년 5G NR 모바일 기기를 출시하기 위해 퀄컴의 스냅드래곤 X50 5G NR 모델을 채택하였다.



<그림 3-12> 퀄컴 스냅드래곤 X50 모뎀 칩셋

3.2.1.3 노키아, 에릭슨

노키아는 2018년 초 초고속, 초저지연, 대용량 통신을 구현할 수 있는 기지국 설치를 위해 리프샤크 칩셋 (ReefShark chipset)을 공개하였다. 리프샤크 칩셋은 MIMO 안테나 크기를 50% 가량 줄여 배치 옵션을 늘리고, 머신러닝을 결합해 빔포밍을 통해 모바일 기기를 직접 찾을 수 있는 기능을 추가하였다. 또한 셀 범위 확장과 방대한 데이터 처리용량을 제공한다. 2018년 4월부터 LG 유플러스와의 협약을 리프샤크 칩셋을 통한 한국형 5G 기지국 장비 기술 공동개발에 나섰다. 또한 2018년 6월 SK 텔레콤과의 공동연구를 통해 5G NR SA기반 end-to-end 데이터 전송에 성공하였다.

에릭슨은 지난 2017년 massive-MIMO와 MU-MIMO를 지원하는 3GPP NR 규격의 AIR 6468을 공개하였다. 이는 64개의 Tx 및 Rx 배열 안테나로 구성되며 기존의 4G LTE와도 호환가능하다. 2017년 3월 서울 강남에서 진행 된 시연에서 4G LTE와 28GHz mmWave 5G 연동실험을 진행하였으며 추후 SK 텔레콤과 함께 NSA기반 5G 표준을 적용한 기지국, 단말 등을 활용해 초고속 데이터 통신, 초저지연 데이터 전송 등 5G 핵심 통신기술 시연에 성공하였다.

3.2.2 국내 제조사의 무선설비 개발 현황

3.2.2.1 삼성전자

삼성전자는 2018년 2월 바르셀로나에서 개최된 MWC 2018에서 5G 이동통신 상용화를 위한 제품군을 공개하였다. 당 행사에서 삼성전자는 5G용 28 GHz 주파수를 지원하는 핵심 칩셋과 이를 탑재한 기지국, 가정용 단말기, 네트워크 코어 장비 등을 선보였다. 삼성전자 5G 기지국은 28 GHz mmWave 대역을 통해 최대 10 Gbps의 데이터를 단말에 전송 할 수 있다.

한편 2018년 1월 미국의 버라이즌 (Verizon)과 5G 기술을 활용한 FWA (Fixed Wireless Access) 서비스 통신장비 공급 계약을 체결하였다. 이를 위한 기지국과 가정용 단말(CPE)는 올해 내 상용 서비스를 시작 할 예정이다. 국내에서는 지난 2017년 9월 SKT와의 협업을 통해 4G와 5G 이동통신의 연동 시연에 성공하였다. 2.6 GHz 주파수 대역의 4G LTE와 3.5 GHz, 28 GHz 대역을 사용하는 5G 통신망을 통합한 통신에 성공하였으며, 이를 통해 5G NR의 NSA 규격이 적용 가능함을 확인하였다.

삼성전자는 3GPP가 정의한 Release 15에 부합하는 엑시노스 5G 모델 칩을 발표하였고, 이는 sub-6 GHz 대역은 물론 mmW 대역을 동시에 지원하며, 4G 이하 이동통신과의 호환성을 보장한다. 이 칩은 28 GHz 대역에서 100 MHz 대역 8개 채널을 하나로 묶어 최대 800 MHz를 사용할 수 있으며, 이론상으로 최대 다운로드 속도 5 Gbps를 지원한다.



<그림 3-13> 삼성전자 5G 종합 솔루션 제품군

이어 지난 2018년 6월 3GPP 국제 표준 기반의 3.5 GHz 기지국 실물을 공개하였으며, 수원 디지털시티 캠퍼스에 5G 통신 네트워크를 구축해 사

람들이 밀집한 대형 경기장에서 massive-MIMO를 이용하여 대용량의 콘텐츠를 즐길 수 있는 ‘5G 스타디움’, 차량과 주유소, 톨게이트 등에도 설치하여 차량-인프라 간 초고속 통신이 가능한 ‘5G 키오스크’ 등의 시연을 진행하기도 하였다.

3.2.2.2 KT

KT는 5G 이동통신 비전을 스마트 에너지, LTE 통합 보안, 지능형 교통 서비스, 헬스케어, 차세대 UHD 미디어 등 5대 융합 서비스에 두고 있다. 이에 대한 노력으로, 2015년 7월, 전 세계 5G 이동통신 시스템의 활성화를 주도하기 위해 대표적인 ICT 기업인 삼성전자, 에릭슨, 노키아, 퀄컴 등과 함께 5G 규격협의체 통해 ‘5G Innovation Laboratory’를 개설하고 공동 개발을 진행하였다. 또한 올해 2분기 ‘5G 오픈랩’을 통해 실감형 미디어, 모바일 단말, 커넥티드 카, 보안, 드론 등 다양한 5G 서비스 및 단말 개발을 촉진하고 이중 산업간 기술협력을 통해 5G 서비스 구축을 촉진 할 계획이다.

지난 2018년 평창 동계 올림픽 공식 파트너사로 선정되어 세계 최초 5G 통신 시범서비스를 성공적으로 진행하였다. 또한 평창 올림픽 시범서비스 이전인 2월 KT 평창 5G 시범망과 일본 NTT도코모의 4G LTE 망간의 데이터 로밍 시연에 성공하였다. 이는 3GPP에서 표준으로 정의한 NSA 기반 기술을 이용 한 것으로 NSA 표 개발 이후 한 달여 만에 글로벌 연동에 성공하는 성과를 이루어냈다.

현재 KT는 2019년 3월 세계 최초 핸드오버를 통한 이동성이 보장되는 모바일 5G 방식의 서비스 상용화를 목표로 하고 있다. 5G 고주파 대역인 밀리미터 대역 주파수는 건물, 벽 등에 대한 투과 손실이 매우 크므로, 사무실, 지하 주차장 등에서 5G 중계기를 통해 5G 품질을 보장하고, 5G 슬롯 일체형 구조, 5G-LTE 연동 구조, 지능형 다중빔 트래킹 솔루션 등을 통해 지연 및 끊김없는 서비스를 제공할 예정이다.

3.2.2.3 SK 텔레콤

SK 텔레콤은 NSA, SA 규격 5G 네트워크 기술을 동시에 개발하고 있다. 상용화 초기에는 5G 커버리지 등에 한계가 있어 LTE와의 연동이 가능한 NSA에 대한 단말 및 기지국을 활용하고, 추후 SA 표준 기반의 5G를 점진적으로 확대할 계획이다.

SK 텔레콤은 지난 2017년 12월 퀄컴, 에릭슨과 5G NR의 NSA 기반 기술 시연에 가장 먼저 성공 한 바 있다. 이어서 2018년 6월 글로벌 네트워크 장비 업체인 노키아와의 협업을 통해 5G NR SA 기반의 이동통신 송수신 전 과정을 5G로 처리하는 ‘End-to-End’ 데이터 전송 및 초저지연 데이터처리 등에 성공했다.

3.2.2.4 LG 유플러스

LG 유플러스는 5G 네트워크 구축을 위해 국내외 글로벌 장비회사 및 국내 중소기업 협력을 강화하고 있다. 국내외 글로벌 장비회사의 기지국, 중계기, 백홀 장비 등의 개발과 협력을 통해 안정적인 상용 서비스 제공을 목표로 하고 있다. 또한 5G 생중계, 초고화질 가상현실 영상 (VR), UHD 무선 IPTV 등의 B2C 서비스와 지능형 CCTV, 5G 스마트 드론, 원격제어 드라이브 등을 지원하는 B2B 서비스 등을 전망하고 화웨이 장비를 이용해 3.5GHz, 28GHz 시스템을 구축하고 지난 1월부터 체험 서비스를 진행하기도 하였다.

또한 2018년 2월 노키아-퀄컴과 함께 3GPP 5G 국제표준인 NSA기반 데이터 통신 시연에 성공한 경험이 있다. 또한 2017년 11월 화웨이와 함께 서울 강남지역에서 세계 최초로 5G 광역 테스트를 진행하고, 고속 데이터 전송, 이중 간 연결, 셀 간 핸드오버 등을 검증하였다.

제4장 5G NR 기지국 OTA 측정기술

제4장 5G NR 기지국 OTA 측정기술

제1절 국내 기지국검사 제도 현황 및 분석

4.1.1 기지국 검사 개요

먼저 이동통신 기지국 검사 또는 측정을 분류하면 <표 4-1>과 같다. 먼저, Conformance test는 기지국의 성능을 인증하기 위해 필요한 검사로서 이동통신 사업자 또는 국가기관에서 수행하는 인증검사가 이에 해당한다. 보통 Conformance test는 자세한 측정과정 및 측정기준이 표준화되어 있다. 국내는 특별히 국립전파연구원에서 실시하는 인증검사와 아울러 기지국 현장검사 과정이 추가되는데 이는 인증검사와 실제 설치 후 기지국의 성능차이가 발생할 수 있기 때문이다. 특히, 4G 까지의 이동통신 기지국은 안테나와 송수신기가 분리되어 있어 실제 현장에서 설치 시 RF 케이블을 통해 연결하므로 설치환경에 따라 케이블의 길이가 달라질 수 있고, 임피던스 정합의 차이로 성능의 차이를 보일 수 있다. 이를 고려하여 현재까지는 기지국 현장검사를 의무적으로 수행하고 있다. 하지만 향후 5G 시스템의 경우 안테나와 송수신부가 일체형일 경우 기지국 현장검사가 필요한지 유무에 대해 논란이 있을 수 있다. 본 연구에서는 이에 대한 언급은 본 연구의 연구범위가 아니므로 생략한다.

<표 4-1> 무선국 측정 분류

| 구 분 | 설 명 | 비 고 |
|------------------|---|-------------------------------------|
| Conformance test | 인증검사와 기지국 현장검사 (Inspection test) | - approval test - pass/fail test |
| Performance test | A virtual test drive system (실제 field 상태를 묘사해서 수행) | - 개발 단계 test |
| Production test | 생산단계 검사 | - pass/fial test |

4.1.2 국내 기지국 검사제도 현황

이동통신 기지국은 무선국의 일종이므로 무선국검사의 대상이 된다. 일반적으로 무선국검사란 허가받은 무선설비가 전파법에서 정하는 기술기준에 적합한지 여부와 무선종사자의 배치 및 허가 시 지정받은 제반사항의 이행여부를 확인하는 절차를 의미한다. 무선국검사는 불법 유해전파의 복사나 사용을 금지시켜 전파혼신으로부터 일반 전파사용자와 국가주요통신망을 보호하고, 전파관리의 효율성을 증진시켜 전파관리의 궁극적인 목표인 전파진흥을 도모하여 국민의 복리증진에 기여하는데 목표가 있다. 이에 국가기관(지방자치단체 제외) 소유무선국이나 방송사 소유한 무선국의 경우 관할 중앙전파관리소에서 검사를 수행하며, 이를 제외한 무선국검사는 한국방송통신전파진흥원(KCA)에서 수행한다. 무선국검사는 전파법에 근거하며 무선국 개설허가 또는 변경허가를 받은 후 설치공사를 완료하고 허가받은 사항에 대하여 받는 준공검사, 무선국 허가 유효기간 내 정기적으로 받는 정기검사, 선박 또는 항공기가 외국에 출항하거나, 기타 전파의 효율적 이용 및 관리를 위하여 필요한 때 받는 임시검사로 분류할 수 있다. 준공검사, 정기검사, 및 임시검사는 전파법 제 24조를 근거로 하고 있다. 한편 2011년부터는 신고하고 개설할 수 있는 무선국 중 대통령령으로 정한 경우에는 표본추출방법을 통한 표본검사가 새롭게 포함되었다⁸⁾. 이러한 무선국검사의 종류는 <표 4-2>에 요약되어 있다.

검사항목은 크게 대조검사와 성능검사로 분류된다. 대조검사는 시설자, 설치장소, 무선종사자, 허가주파수 및 기기형식 등 무선설비가 허가된 사항과 일치하는지를 확인하는 검사이다. 성능검사는 주파수, 안테나공급전력의 허용편차, 점유주파수대역폭 및 스푸리어스(Spurious: 불요전파) 발사 등의 기술기준 만족 여부를 측정하는 검사이다.

무선국검사는 검사기관에서 무선국의 설치장소를 방문하여 검사를 하

8) 2011.1.24자로 시행

는 것이 일반적이며, 차량용이나 휴대용의 경우에는 검사기관을 방문하여 예정일 이전에 검사를 받는다. 무선국검사에 합격할 경우에는 검사증명서를 교부하고 이 증명서를 교부받은 날부터 무선국을 운용할 수 있다. 정기검사의 경우 <표 4-3>와 같이 각 무선국별로 검사주기를 1년에서 5년까지 가변하여 정하고 있다.

<표 4-2> 무선국검사의 종류

| 구 분 | 관련 법규 | 내 용 |
|------|--------------|---|
| 준공검사 | 전파법 제24조(검사) | 무선국 개설허가 또는 변경허가를 받은 자는 무선설비가 준공된 경우 준공신고를 하고 그 무선설비가 기술기준 및 무선종사자의 자격/정원 배치기준에 적합한지 검사 |
| 정기검사 | 전파법 제24조(검사) | 개설허가를 받은 무선국에 대하여 5년의 범위 내에서 정기적으로 실시하는 검사 |
| 임시검사 | 전파법 제24조(검사) | 전파의 효율적 이용 및 관리를 위해 필요 시 실시하는 검사로 정기·준공검사 이외의 검사 |
| 표본검사 | 전파법 제24조(검사) | 신고하고 개설할 수 있는 무선국 중 대통령령으로 정한 경우에는 표본추출 방법으로 검사 |

<표 4-3> 무선국 정기검사의 시기

| 검사주기 | 해당 무선국 | 정기검사 시기 |
|------|--|--------------------|
| 1년 | 의무선박국, 의무항공기국, 실험국, 실용화시험국 | 유효기간 만료일 전후 2개월 이내 |
| 2년 | 총톤수 40톤 미만인 어선의 의무선박국, 평수구역 안에서만 운항하는 선박(여객선 및 어선제외)의 의무선박국, 회전익 항공기 및 초경량비행장치의 의무항공국 | 유효기간 만료일 전후 3개월 이내 |
| 3년 | 허가유효기간이 3년인 무선국 (방송국, 고정국, 해안국, 비상국 등) | 유효기간 만료일 전후 3개월 이내 |
| 5년 | 이동국, 육상국, 육상이동국, 기지국, 이동중계국, 선박국(의무선박국은 제외), 선상통신국, 무선표지국, 무선측위국, 우주국, 일반지구국, 해안지구국, 항공지구국, 육상지구국, 이동지구국, 기지지구국, 육상이동지구국, 아마추어국, 간이무선국 및 항공국 | 유효기간 만료일 전후 6개월 이내 |

* 정기검사 면제대상 무선국 : 아마추어무선국, 공해 또는 극지역에 개설한 무선국, 외국에서 운용할 목적으로 개설한 육상이동지구국, 이동국, 육상이동국, 간이무선국 등의 휴대용 기기

한편 전파법 제19조의2에 의하여 발사하는 전파가 미약한 무선국 등으로서 대통령령으로 정하는 무선국은 방송통신위원회에 신고하지 아니하고 개설할 수 있도록 하고 있다. 이러한 무선국은 전파법시행령 제24조의2에 의거 고시되며, 현행 비신고로 개설이 가능한 무선국은 ‘신고하지 아니하고 개설할 수 있는 무선국용 무선기기(방송통신위원회고시 제 2008-138호, 2008.12.31)’에 고시된 바와 같다. 국내에서 비신고로 운용이 가능한 무선설비에 대한 출력은 전계강도, 실효복사전력, 안테나공급전력 또는 전력밀도를 기준으로 관리되고 있다.

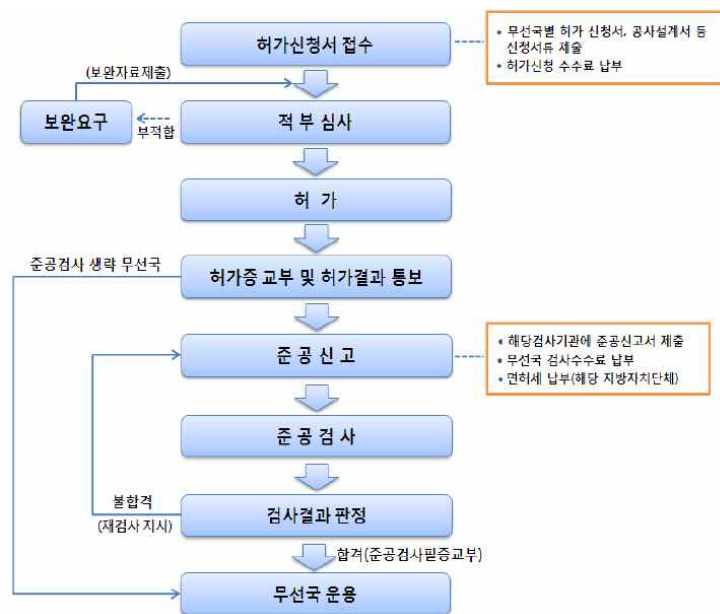
<표 4-4> 무선국 종류에 따른 검사절차 비교

| 구 분 | 절 차 | | | | 비 고 |
|---------------------------|-----|----|----------|----------|----------------------------|
| | 허가 | 신고 | 준공 검사 | 변경 검사 | |
| 일반무선국 | ○ | - | ○ | ○ | |
| 신고하고 개설할 수 있는 무선국 | 면제 | ○ | ○ | ○ | 전파법 시행령 제21조 |
| 신고하지 아니하고 개설할 수 있는 무선국 | 면제 | 면제 | 면제 | 면제 | 신고하지 아니하고 개설할 수 있는 무선기기 |

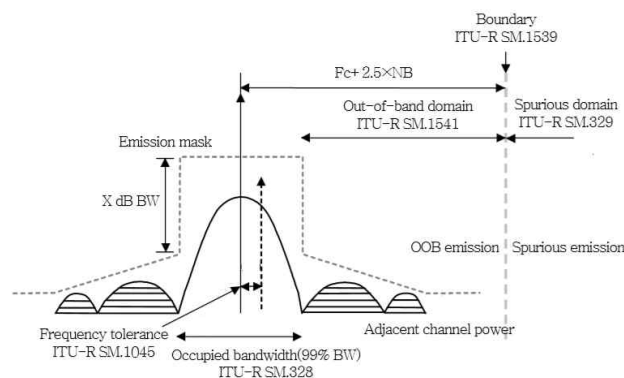
국내에서 무선국을 개설할 시에는 <그림 4-1>과 같이 전파법 제19조(허가를 통한 무선국 개설 등), 제19조의 2(신고를 통한 무선국 개설 등), 및 제21조(무선국의 개설허가 등의 절차)에 따라 허가 또는 신고 절차를 거쳐야 하며, 이와 관련된 무선국검사를 받도록 하고 있다. 무선국 허가신청서 접수 시부터 무선국 운용 시까지의 통상적인 소요시간은 전파응용설비의 경우 약 29일(허가 14일 + 준공검사 14일)이며, 전파법 제11조(대가에 의한 주파수할당) 또는 제12조(심사에 의한 주파수할당)에 따라 주파수할당을 받은 자가 전기통신역무 등을 제공하기 위하여 개설하는 무선국의 경우 약 59일(허가 14일 + 준공검사 45일)이 소요된다. (단 주파수할당을 받은 자가 전기통신역무 등을 제공하기 위하여 개설하

는 무선국은 준공신고 후 운용할 수 있다.)

무선국의 개설은 허가를 기본으로 하고 있으나 일부 특정 무선국에 대하여 허가를 면제하여 신고하고 개설할 수 있도록 하고 있다. 전기통신 역무를 제공하는 이동통신(셀룰라, PCS, IMT-2000) 사업자가 개설하는 무선국이 여기에 속하며, 이동통신용 무선설비의 기술기준은 무선설비규칙 제82조(이동전화용 무선설비), 제83조 (개인휴대전화용 무선설비), 제 91조(이동통신용 무선설비)에 정하고 있다.



<그림 4-1> 무선국검사 절차



<그림 4-2> 무선국의 주요 기술기준 항목

무선국검사 중 가장 비중이 높은 무선국검사는 KCA가 진행하는 이동통신 기지국검사이다. 5G에서의 이동통신 기지국 검사를 위한 주요 항목은 다음 <그림 4-2>와 <표 4-5>에 나타나 있다.

<표 4-5> 이동통신 기지국 기술기준 주요 항목

| 항목 | 관련 3GPP 기준 | 단위 |
|-----------------------------------|------------------------------|-----------|
| 주파수 허용편차 (Frequency error) | 3GPP 38.104/101 6.5.1/9.6.1 | ppm 또는 Hz |
| 점유주파수대역폭 (Channel Bandwidth) | 3GPP 38.104/101 5.3 | Hz |
| 출력 (Output power) | 3GPP 38.104/101 6.2, 9.3 | dBm 또는 W |
| 대역외 발사 (unwanted emission) | 3GPP 38.104/101 6.6.4, 9.7.4 | dBm 또는 dB |
| 인접채널 누설전력 (ACLR) | 3GPP 38.104/101 6.6.3, 9.7.3 | dB |
| 스퓨리어스 발사 (Spurious emission) | 3GPP 38.104/101 6.6.5, 9.7.5 | dBm |
| 부차적 전파발사 (RX spurious emssion) | 3GPP 38.104/101 7.6, 10.7 | dBm |

- ① 주파수허용편차 - 전파발사에 의하여 점유하는 주파수대의 중앙주파수와 지정주파수 사이에 허용될 수 있는 최대편차 또는 발사의 특정 주파수와 기준주파수 사이에서 허용될 수 있는 최대편차
- ② 점유주파수대역폭 - 변조의 결과로 생기는 주파수 대역폭의 하한주파수 미만의 부분과 상한주파수를 초과하는 부분에서 각각 발사되는 평균전력이 따로 정하는 경우를 제외하고 각각 0.5퍼센트와 같은 주파수대역폭을 의미하며 중심주파수를 중심으로 전력의 99%를 차지하는 주파수 대역이 점유주파수대역폭임
- ③ 대역외 발사 - 대역외발사란 변조과정에서 발생하는 필요주파수 대역폭의 바로 바깥쪽에 위치한 하나 이상의 주파수에서 발생하는 발사(스퓨리어스 발사는 제외)를 의미한다. 일반적으로 대역외 영역과 스

퓨리어스 영역을 구분한 것은 대역외 영역에서 무선기기의 증폭기에 의한 비선형성을 규제하고 스퓨리어스 영역에서는 고조파(harmonics)에 의한 불요발사를 규제하자는 의미이다. ITU-R SM153901 권고안에서는 대역외 영역과 스퓨리어스 영역에 대한 경계기준을 중심주파수로부터 점유주파수대역폭의 2.5배 이격된 부분으로 스퓨리어스 영역이 결정된다.

- ④ 인접채널누설전력 - 인접채널 누설전력은 변조상태의 송신출력 양쪽의 인접채널 주파수를 중심으로 규정된 대역폭 내로 누설되는 전력들을 의미한다.

기본적으로 기지국검사는 타 무선기기에 전파혼신을 주지 않도록 송신기 측면에서 관리하는 것을 알 수 있다. 일반적으로 현재까지의 이동통신 기지국은 안테나공급전력을 직결방식으로 측정하며 계측장비의 경우 스펙트럼 분석기(Spectrum analyzer)를 이용하는 것이 보편적이다.

제2절 기지국 OTA 검사란?

앞에서 살펴본 대로 현행 기지국검사는 안테나공급전력을 기준으로 하는 직결측정 방식의 무선국검사를 실시하고 있다. 일부 소출력 기기에 대해서는 ERP/EIRP 기반의 무선국검사가 실시되고 있기는 하지만 국민의 삶에 직접적인 영향을 미치는 허가대상 무선국은 대부분 안테나공급전력으로 진행되고 있다. 이에 따라 실제 운용상의 출력을 반영하지 못하여 사업자의 경우에는 기지국 또는 중계기를 최적으로 설치하지 못하는 단점이 있으며, 사용자는 최적의 통신품질을 얻지 못하는 단점이 있게 된다. 또한, 밀리미터파 대역의 시스템이나 AAS 시스템의 경우 직결측정 방식이 어렵거나 불가능할 수 있다. 이에 OTA (Over-the-Air) 기반의 기지국 검사에 대한 수요가 지속적으로 제기되고 있다

한편, 유럽, 미국 등에서는 OTA 기반으로 무선국 기술기준을 정하고 있으며, 독일 등 선진국에서는 OTA 기반으로 무선국검사를 불시에 수행하고 있다. 이에 본 장에서는 OTA 기반 측정에 대한 개요를 설명하고자 한다. 한편, OTA 기반으로 무선국검사의 경우 관련 제도의 개정도 필요하나, 이는 본 연구의 범위를 벗어나므로 생략하기로 한다.

OTA 기반의 무선국검사의 대표적인 예가 EIRP 측정이다. 이는 실제 방사되는 출력을 사업자의 간섭 없이 불시에 검사할 수 있어 기지국검사의 효율 및 공공성을 높일 수 있다. 단, 보편화되지는 않은 방식이므로 오랜 시간에 걸친 체계적인 연구가 필요한 내용이다. 또한, 5G 이동통신에서 사용되는 MIMO 및 빔포밍 기술을 이용하는 기지국의 경우 EIRP 기반 OTA 측정기술은 한계가 존재한다. 본 절에서는 EIRP 기반 OTA 검사에 대해 살펴보고 5G NR 기술이 적용될 수 있는지 여부를 살펴본다. 또한, 빔포밍 환경에 적당한 OTA 기반 기지국 검사 제도가 필요한지 여부를 고찰하도록 한다.

.

4.2.1 EIRP 기반 OTA 검사 개요

무선 통신의 기본 요소는 송신기와 수신기이며 이에는 각각 안테나가 부착되어 있다. 입력 전력인 P_t 인 송신기에서 거리 R 만큼 떨어진 위치에 있는 수신기에서의 전력 밀도 (PSD)는 송신 안테나가 완전 등방성 안테나라는 가정에서 식 (4-1)로 주어진다.

$$PSD = \frac{P_t}{4\pi R^2} [W/m^2] \quad (4-1)$$

그러나 실제의 안테나는 등방성 안테나가 아니고 송신 방향에 따라 등방성 안테나 (isotropic antenna)에 대한 상대 이득 G_t 를 가지고 있기 때문에 실제의 전력 밀도는 아래와 같이 식 (4-2)로 결정된다.

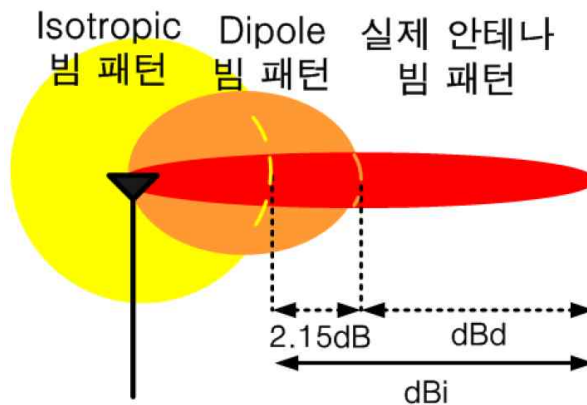
$$PSD = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} = \frac{EIRP}{4\pi R^2} [W/m^2] \quad (4-2)$$

이와 같이 특정 방향에 위치한 수신기에서의 전력 밀도는 유효적으로 안테나입력 전력인 P_t 과 이득의 곱 $P_t G_t$ 로 결정되는 전력을 송신 안테나가 등방성으로 방사한다고 가정 할 때의 전력 밀도와 같게 결정된다. 이러한 이유로 $P_t G_t$ 는 유효등방복사전력(EIRP)이라고 명명되었다. 무선 설비규칙에서는 등가등방복사전력이라는 용어로 사용되고 있으나 본원적인 의미에서 ‘등가’ 보다는 ‘유효’라는 단어가 적절하다.

다음으로 실효복사전력(ERP)은 안테나에 공급되는 송신기의 전력과 주어진 방향에서 반파장 다이폴 안테나에 대한 상대이득의 곱으로 표현된다. 즉, EIRP는 등방성 안테나를 기준으로, ERP는 반파장 다이폴 안테나를 기준으로 함에 따라 방향성 이득 2.15 dB의 차이를 고려하면 ERP와 EIRP는 식 (4-3)과 같은 관계를 갖는다.

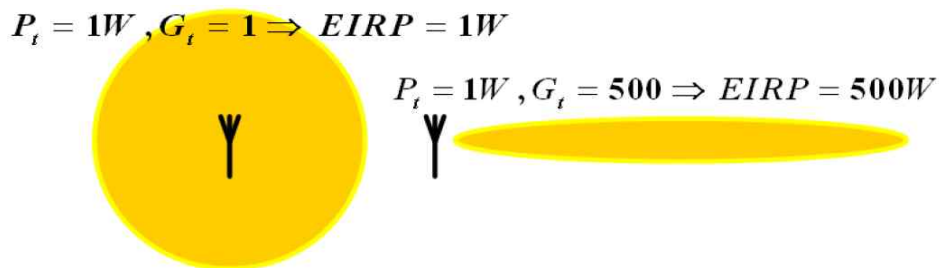
$$EIRP = ERP + 2.15dB \quad (4-3)$$

예를 들어, 이득(G)이 10 dBi인 안테나를 사용하는 1W (30 dBm)의 송신기를 가정하면, ERP는 37.85 dBm, EIRP는 40 dBm이 된다. 아래 <그림 4-3>에 안테나에 따른 이득을 ERP와 EIRP 개념으로 표현하였다.



<그림 4-3> 안테나에 따른 이득

동일한 안테나공급전력이라 할지라도 <그림 4-4>에서처럼 안테나 이득에 따라 빔 특성이 달라진다. 그림의 두 안테나는 안테나공급전력은 1W로 동일하지만 안테나 이득의 차이로 EIRP는 500배 차이가 남을 볼 수 있다.



<그림 4-4> EIRP에 따른 빔 특성

<표 4-6> ERP와 EIRP의 관계

| 구 분 | ERP | EIRP | 비 고 |
|----------|--------------------|-------------------|--------|
| 명칭 | 실효복사전력 | 실효등방성 복사전력 | |
| 기준 안테나 | $\lambda/2$ 표준 다이폴 | 등방성 안테나 | |
| 적용이득 | 상대이득 | 절대이득 | |
| 안테나 이득단위 | dBd | dBi | |
| 적용범위 | 1 GHz 이하 | 1 GHz 이상 | 기준이 모호 |
| 산출식 | $P=P_t \cdot G_a$ | $P=P_t \cdot G_h$ | |
| 크기관계 | ERP | ERP의 1.64배 | 2.15dB |

때로는 ERP/EIRP 대신에 전계 강도, 자계 강도, 전력밀도 등으로 무선기기의 전파 방사를 제한하는 경우도 있는 데 모두 EIRP/ERP로 규제하는 것과 유사한 효과를 갖는다. 먼저, 전계강도 **E**, 자계강도 **H**, 및 전력밀도와 EIRP의 관계는 far-field라고 가정할 경우, 다음과 같이 주어진다.

$$E = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{\eta \cdot EIRP}{2\pi}} = \frac{\sqrt{60EIRP}}{R} \quad (4-4)$$

$$\frac{E}{H} = \eta \quad (4-5)$$

$$PSD = \frac{1}{2}EH = \frac{E^2}{2\eta} = \frac{\eta H^2}{2} \quad (4-6)$$

여기서, 전계강도 **E**와 자계강도 **H**는 전파의 진행방향에 수직하게 되고 η 는 자유공간의 고유임피던스에 해당한다.

식 (4-4)에서 (4-6)에 의하여 EIRP, 전계강도, 자계강도, 전력밀도가 far-field 조건에서는 서로 간에 환산할 수 있는 물리량이 된다. 하지만, 저주파수대역의 경우에는 파장이 매우 커서 far-field 조건이 성립하지 못하고 near-field 조건이 성립된다. 예를 들어 HF (3~30MHz)이하의 주파

수 대역에서 사용하는 자계응용기기들은 10m 이면 near-field가 되므로, EIRP와 전계강도, 자계강도, 전력밀도 간의 환산이 되지 않으므로 이러한 응용에서는 자계측정이 더 용이하게 된다. near-field에서는 방사되지 않는 근접전계 또는 자계가 더 우세하기 때문에 전계강도나 자계강도로 무선국의 방사특성을 제한하는 것이다. 따라서 무선국의 출력 관리는 EIRP, 전계강도, 자계강도, 전력밀도 등으로 무선국에 따라 다양하게 제한되고 있다. <표 4-7>에서 다양한 무선국의 출력규제 방식을 보여준다. 또한 <표 4-8>에서는 여러 무선국 출력규제 방식의 장단점을 보여준다.

<표 4-7> 무선국의 출력관리 기준 비교

| 구 분 | | 정의 | 비고 |
|-------------|-----------------|---------------------------------|--|
| 안테나공급 전력 | 평균(PY) | 충분히 긴 시간동안에 걸쳐 전력을 평균한 값 | AM 방송용, 해상· 항공업무용 등 주로 안테나크기가 크고 저주파수, 저이득을 갖는 무선국의 규제 에 사용 |
| | 첨두포락선 전력(PX) | 변조포락선의 첨두에서 주파수 1주기 동안 평균한 값 | |
| | 반송파전력 (PZ) | 반송파만의 전력 | |
| | 규격전력 (PR) | 송신장치의 종단증폭기의 정격출력 | |
| ERP/EIRP | | $EIRP = P_t G_t$ | 가장 유효한 무선설 비 규제방식 |
| 전계강도 | | E | 국내 AM방송용 등 |
| 자계강도 | | H | 자계응용설비 등 |

<표 4-8> 무선국의 출력관리 기준의 장단점 분석

| 구 분 | 측정방법 | 장점 | 단점 |
|-----------------|---|---|--|
| 안테나 공급전력 | 안테나 입력단의 출력을 측정 | 측정 용이 | 이득을 규제하지 못해 고이득 안테나를 사용 하는 경우 간섭 가능성 |
| 안테나공급 전력과 이득 | 안테나 전력측정과 이득을 별도로 측정 | EIRP 관리방식에 상응하는 효과를 가지며 EIRP 측정이 용이하지 않은 경우 적용할 수 있는 방식 | 안테나공급 전력과 이 득을 별도로 측정 |
| ERP/EIRP | 치환안테나를 사용하여 상대적으로 구함 | 무선기기의 방사성능을 총체적 규제 | 저주파수대역에서는 안 테나 크기가 매우 커 측정이 쉽지 않음 |
| 전계강도 (자계강도) | 무선기기로부터 일정거리 떨어진 거리에서 전계강도 측정 | 무반사 조건에서는 EIRP와 같은 효과를 가짐. 전계강도 측정기로 간단히 측정가능 | 지표상에서는 같은 거리라도 지표 조건에 따라 측정값이 다름(표준화에 문제) |
| 전력밀도 | 무선기기로부터 일정거리 떨어진 거리에서 전계강도 측정하여 환산 | 무반사 조건에서는 EIRP에 상응하는 효과를 지님 | 지표상에서는 같은 거리라도 지표 조건에 따라 측정값이 다름(표준화에 문제) |

ERP 또는 EIRP의 측정은 반드시 안테나 측정 개념 즉, 반사파가 영향을 주지 않는 자유공간 혹은 무반사실에서 이론식을 토대로 가장 최단거리에서 측정되어야 한다. 즉, 반드시 반사파가 없는 조건에서 측정이 이루어져야 ERP 또는 EIRP를 정확하게 구할 수 있는 것이다. 반사가 없는 조건이란 무반사실(Full Anechoic Chamber)이나 바닥면에 해당주파수 대역에서 흡수율이 20 dB 이상인 흡수체를 충분한 면적에 설치한 오픈사이트 혹은 반사파가 무시될 수 있는 2개의 고층건물 간에서 측정이 가능하다.

4.2.2 EIRP 기반 OTA 검사의 한계

앞에서 무선국 OTA 검사 방법 중 EIRP 측정에 대해 살펴보았다. EIRP 기반의 OTA 측정은 기본적으로 송신전력과 안테나이득을 곱한 것으로 이때 안테나이득은 고정된다고 가정한다. 하지만 5G 기지국과 같이 송신 및 수신 구간이 분리되고 안테나 빔 특성이 시간에 따라 변할 경우에는 이를 고려하여야 한다. 다시 말하면 기지국의 EIRP란 공중선 전력에 안테나 이득을 곱한 것으로 기본적으로 빔포밍 기능이 없는 단일 안테나 또는 고정된 빔 특성을 갖는 다중안테나의 경우에 가능한 것이다. 일반적으로 빔포밍 기능이 있는 다중 안테나의 경우에는 빔 간의 상호작용에 의해 특정한 방향에 빔이 집중 될 수 있으며, 이동통신의 경우 사용자가 이동함에 따라 빔의 특성이 시간에 따라 변하게 된다.

FCC나 ETSI에서는 이를 고려하여 빔포밍 기능이 있는 경우 식 (4-7)에 의해 최대 송신기 안테나 이득을 구하고, EIRP를 가정하도록 규정하고 있다.

$$G_t = G_{ANT} \times N_{ANT} \quad (4-7)$$

여기서 G_t 는 안테나 이득, G_{ANT} 는 단일 안테나 이득, N_{ANT} 는 안테나의 개수에 해당된다. 하지만 식 (4-7)은 고정된 빔 특성을 갖는 고정통신의 경우에만 해당한다. 이동통신의 경우에는 빔이 사용자의 분포에 따라 변하게 된다.

먼저, TDD 방식을 고려하여 송신기가 사용되는 특정 Duty Cycle의 점유 시간만큼 실제 방사전력이 감소된다. 따라서 점유시간을 고려한 평균방사전력은 식 (4-8)과 같이 정의된다.

$$P_{avg} = P_t \times \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \quad (4-8)$$

따라서 시간을 고려한 단일 빔의 EIRP는 식 (4-9)와 같다.

$$EIRP_{avg} = P_{avg} G_t \quad (4-9)$$

이는 특정 셀로 방사되는 출력의 값을 나타내므로, 기지국의 모든 셀에서 방출되는 출력은 셀 안의 유저의 분포가 균일하다는 가정 하에 식 (4-10)로 나타낼 수 있다.

$$EIRP_{avg} = \chi \cdot P_{avg} G_t \quad (4-10)$$

χ 는 섹터의 개수를 나타내며, 섹터는 스마트안테나의 빔이 형성될 수 있는 최대 각도 범위를 의미한다. 섹터의 수가 3개인 경우 각도범위는 $2\pi/3 = 120^\circ$ 가 된다.

최대 복사전력은 빔 하나의 복사전력인 $EIRP_{single}$ 과 사용자 수의 곱으로 나타내어진다. 스마트안테나 시스템에서, 고정된 관측 지점에서 k 개의 트래픽 빔(사용자 당 하나의 트래픽 빔)이 존재하는 확률은 이항분포 $p(x=k)$ 를 따르며, 누적이항함수로 식 (4-11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F(k) = \sum_{i=0}^k p(x=i) \quad (4-11)$$

$$P(x=k) = \binom{k}{n} p^k (1-p)^{n-k} \quad (k=0,1,\dots,n) \quad (4-12)$$

특정 지점을 향하는 빔의 최대 전력밀도에 대한 확률은 P_{lim} 으로 한정 지을 수 있다. 위의 식을 이용하여 특정 지점에 동시에 존재하는 사용자

의 수는 $F^{-1}(P_{\text{lim}})$ 으로 구할 수 있다. 따라서 $EIRP_{\text{single}}$ 과 특정지점 사용자 수의 곱은 식 (4-13)과 같다

$$EIRP = F^{-1}(P_{\text{lim}}) \times EIRP_{\text{single}}. \quad (4-13)$$

이 때 단일 빔의 $EIRP$ 는

$$EIRP_{\text{single}} = P \times G \quad (4-14)$$

이며, 셀 안의 사용자가 균일한 분포를 가질 때,

$$EIRP_{\text{avg}} = np \cdot EIRP_{\text{single}} \quad (4-15)$$

로 나타내어진다. 이 때 n 은 셀 내의 총 사용자 수이고, p 는 셀의 고정된 관측 지점에서 하나의 트래픽 빔을 관측 할 확률이다. p 는 빔폭(Beam width)에 대해 $p = \frac{\Phi_{3dB}}{2\pi/\chi}$ 로 계산된다.

$$EIRP_{\text{single}} = \frac{\chi}{np} \cdot P_{\text{avg}} G_t \quad (4-16)$$

식 (4-13)과 (4-16)을 통해 식 (4-17)과 같이 $EIRP$ 를 구할 수 있다.

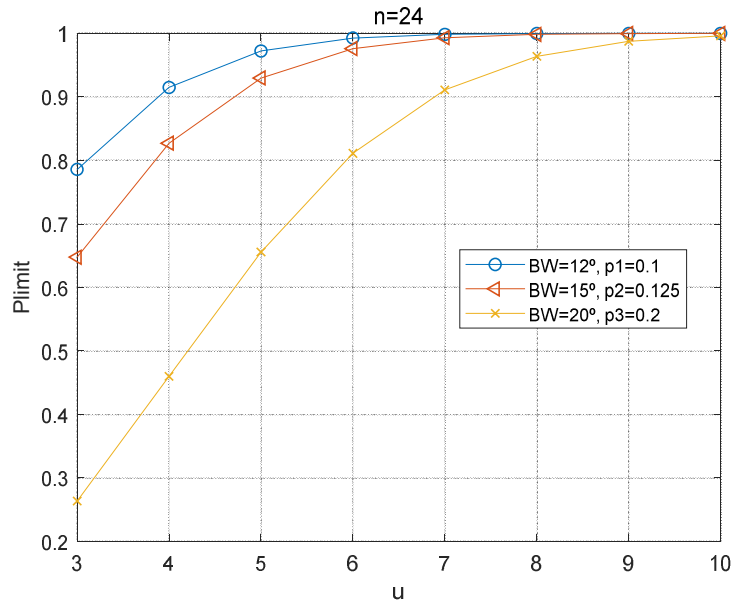
$$EIRP = \frac{\chi F^{-1}(P_{\text{lim}})}{np} \cdot EIRP_{\text{avg}} \quad (4-17)$$

동일 지점에 존재하는 최대 사용자의 수를 $\mu = F^{-1}(P_{\text{lim}})$ 로 나타내면,

$$EIRP = \frac{\chi\mu}{np} \cdot EIRP_{avg} \quad (4-18)$$

이며 이는 시공간을 고려해 빔포밍 기반 TDD 시스템에서 빔과 사용자의 분포를 고려한 $EIRP$ 이다.

μ 와 P_{lim} 는 n 과 p 에 의해 <그림 4-5>와 같은 관계를 보인다. 그림에서는 사용자수 24명, $p_1=0.1$, $p_2=0.125$, $p_3=0.2$ 의 확률일 때를 가정한다.

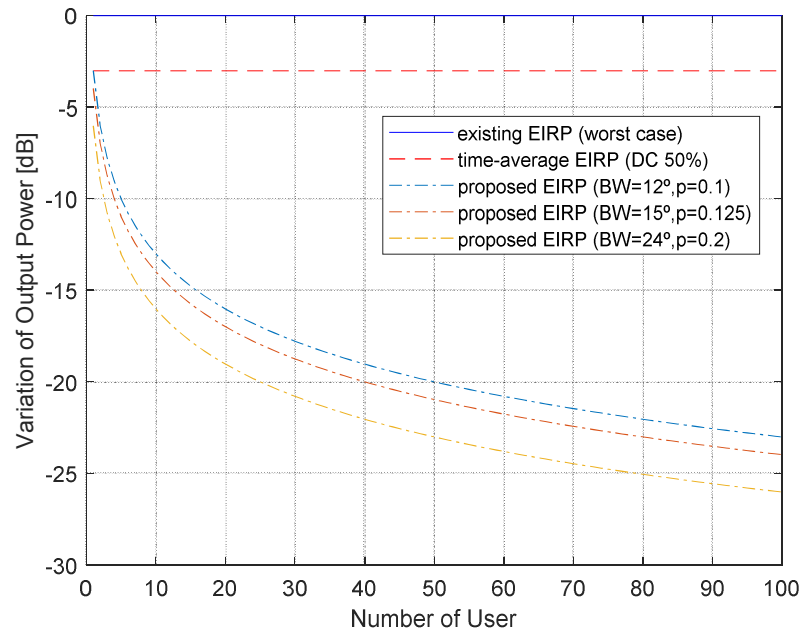


<그림 4-5> μ 와 P_{lim} 의 관계

예를 들어 다음과 같은 기지국 환경을 고려해보자. 해당 기지국이 총 3개의 섹터를 가지고, 총 사용자의 수가 24명이며, TDD 관점의 Duty cycle이 50%, 섹터 당 공중선 전력은 100 mW, 송신안테나의 이득이 15dB, $p = \frac{\Phi_{3dB}}{2\pi/3} = \frac{\pi/12}{2\pi/3} = 0.125$ 이라고 가정한다. 동일지점 최대 사용자

의 수, 즉 $\mu=3$ 일 때 식 (4-18)을 이용하면 해당 기지국 안테나의 출력은 섹터 당 50 mW로 계산된다.

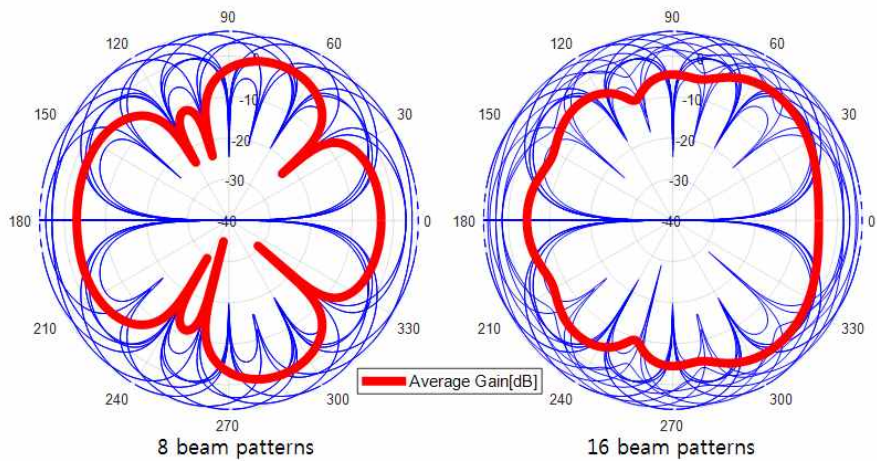
<그림 4-6>은 기존의 EIRP 측정방식과 Duty cycle에 따른 시간평균을 고려한 EIRP, 그리고 빔포밍에 의한 공간평균특성을 고려한 EIRP 측정방법의 차이점을 보인다. 기존의 EIRP를 기준으로 시간평균을 고려한 EIRP는 Duty cycle이 50%이기 때문에 전체 전력이 3dB 감소한 것을 확인 할 수 있다. 제안한 EIRP 측정 방법은 그림과 같이 사용자가 1명일 때, 시간평균을 고려한 EIRP와 같고, 사용자의 수가 많아질수록 출력이 작아짐을 확인 할 수 있다. 또한 빔 폭이 넓어질수록 즉, p 가 증가할수록 기존의 EIRP 측정 방식에 비해 EIRP 감소량이 더욱 큰 것을 확인할 수 있다.



<그림 4-6> 기존의 EIRP 측정 방식과 제안한 방식의 차이

이는 p 를 증가시키기 위해 트래픽 빔의 폭을 증가시켰을 때, 빔의 개수가 줄어들어 <그림 4-7>과 같이 평균방사전력이 줄어드는 효과를 나타내

기 때문이다. 이는 기존의 단순 EIRP 방법을 이용해 OTA측정을 할 경우 기지국의 EIRP 측정 결과가 사용자가 1명에 연속적으로 빔을 송신하는 비현실적인 결과로 과대 추정(over-estimation)이 이루어짐을 의미한다. 따라서 하나의 기지국 당 여러명의 사용자가 있고, 시간에 따라 변화는 트래픽환경을 보이는 일반적인 이동통신 상황을 고려하고 있지 못한 경우임을 알 수 있다.



<그림 4-7> 빔의 개수에 따른 평균방사전력

4.2.3 5G NR 환경에 맞는 OTA 기지국 검사의 필요성

4.2.3.1 출력 관점

앞에서 현재의 기지국 검사는 다중 안테나를 갖는 빔포밍 환경에서의 출력을 제대로 측정할 수 없음을 알 수 있었다. 보통 다중 안테나를 갖는 경우 출력은 FCC 662911 문서에서는 다음과 같이 정의한다. 송신기가 N개의 안테나를 가지고 있고, 각각의 개별 안테나 이득은 G_{ANT} [dBi]로 동일할 경우, N개의 안테나에 동일한 출력이 공급될 경우를 가정한다. 만약 안테나가 서로 간에 ‘correlated’ 하다면 N개의 안테나 이득은 다음과 같다.

$$G_t = G_{ANT} + 10\log(N) [dBi] \quad (4-19)$$

이 조건을 만족하는 송신기는 위상배열안테나, CDD(Cyclic Delay Diversity) 다이버시티 등 동일한 데이터를 각각의 안테나로 송신하는 빔포밍 안테나가 이에 해당한다.

반면 안테나가 서로 간에 ‘completely uncorrelated’ 하다면 N개의 안테나 이득은 다음과 같다.

$$G_t = G_{ANT} [dBi] \quad (4-20)$$

이 조건을 만족하는 송신기는 STBC (Space Time Block Code)나 STC (Space Time Code), Spatial Multiplexing MIMO를 사용하는 송신기를 들 수 있으며, 이 경우 각각의 안테나가 송신하는 디지털 데이터는 서로 다르다.

기본적으로 FCC 문서 역시 빔포밍 최대 이득만을 고려하며, 빔의 시간적인 변화는 고려하고 있지 않음을 알 수 있다. 국내 이동통신 기술

기준의 경우 4G 까지는 빔포밍 기술이 사용되지 않았기 때문에 식 (4-20)을 기반으로 각 포트별 독립적이라는 가정 하에 기지국 검사를 하는 것이 일반적이었다. 하지만 5G 들어 빔포밍을 하는 경우 식 (4-19)를 기반으로 하면, 4.2.2절에서 분석한 바와 같이 실제 이동통신 기지국이 송신하는 출력보다 크게 예측된다. 따라서 빔포밍의 평균적인 빔 점유시간 등을 고려하여 평균출력을 측정하는 시도가 필요할 것으로 판단된다. 이것은 일종의 규제완화 효과도 있으므로 5G 세계 최초 상용화를 목표로 하는 우리나라 입장에서 선제적으로 채용할 필요가 있다고 판단된다.

4.2.3.2 전파품질 관점

다음으로 새로운 통신품질에 기반한 새로운 무선국 검사항목의 필요성을 살펴본다. 통상적으로 무선국검사 항목은 전파품질 항목과 통신품질 항목으로 나눌 수 있다. 여기서 전파품질이란 무선국에서 발사된 전파가 허가된 기술기준을 만족하고 타 무선국에 혼선을 주는지 그렇지 않는지를 나타내는 지표로서 보통 주파수허용편차, 점유 주파수 대역폭, 스퓨리어스 발사, ACLR(Adjacent channel leakage power) 등이 이에 해당한다. 과거 아날로그 시절에서는 음성통신이 주이므로 전파품질 항목과 통신품질 항목에 큰 차이가 없었다. 음성통신의 경우 음성신호에 영향을 주는 통신품질 항목으로는 주파수허용편차, 점유주파수 대역폭, FM/AM 변조도 등이 있는데 이러한 항목은 전파품질 항목과 큰 차이가 없었다.

그러나 최근 디지털통신 기술의 발전으로 전파품질과 통신품질 간의 차이가 발생한다. 예를 들어 디지털 통신 시스템에서는 변조도나 주파수 편이에 해당하는 Error vector magnitude (EVM), Time alignment error (TAE) 등이 통신품질에 해당하는데 국내 이동통신 기지국의 무선국검사 시 이러한 항목은 측정하지 않고 있다. 예를 들어 LTE 이동통신 기지국의 송신기 RF 시험을 규정한 3GPP TS 36.104 문서에서 측정하는 항목과 국내 무선국검사의 측정항목을 비교하면 <표 4-9>와 같다.

<표 4-9> 3GPP 무선국 특성 항목과 국내 무선국검사 항목 비교

| 항목 | 세부항목 | 국내 무선국검사 항목 |
|-----------------------------|----------------------------------|-------------|
| Output power | - | 출력전력 |
| Output power dynamics | - | - |
| Transmit ON/OFF power | - | - |
| Transmitted signal quality | Frequency error | 주파수허용편차 |
| | EVM (Error vector magnitude) | - |
| | TAE (Time alignment error) | - |
| | DL RS power | - |
| Unwanted emissions | Occupied BW | 점유주파수 대역폭 |
| | ACLR | 불효 발사의 허용치 |
| | Operating band unwanted emission | |
| | Transmitter spurious emission | |
| Transmitter intermodulation | - | - |

표에서 알 수 있듯이 EVM이나 TAE 등 디지털 통신의 성능에 영향을 주는 파라미터는 이동통신사와 제조사 사이에서는 측정을 하고 있으나 정부와 이동통신사 간의 무선국검사 과정에서는 생략되고 있음을 알 수 있다. EVM은 주어진 시간에 이상적인 기준신호와 측정된 신호 간의 벡터 차이를 의미하며, EVM의 나쁠 경우 동일한 세기의 전파신호라 하더라도 수신기의 BER (Bit Error Rate)이 나빠지게 되어 수신이 어렵게 된다. TAE는 신호/송신기 구조/송신모드의 특정한 조합에 있어서 어떤 두 신호들 사이의 가장 큰 시간 차이를 의미하는데 TAE가 나쁠 경우 송신기 다이버시티, MIMO 전송, 반송파 집적 (CA: Carrier Aggregation) 등의 성능이 나빠지게 된다. 4G 이후 LTE 기술이 MIMO, CA 등을 주축으로 하여 데이터 속도를 높이고 있는 것을 고려하면 이러한 항목이 무선국검사에서 빠져 있다는 것은 안타까운 일이다. 아마도 그 이유 중의 하나는 디지털통신의 기술발전 추세가 매우 빠르기 때문에







보수적인 무선국검사에서 따라가지 못하고 있기 때문일 것으로 판단된다.

4.2.3.3 주파수 관점

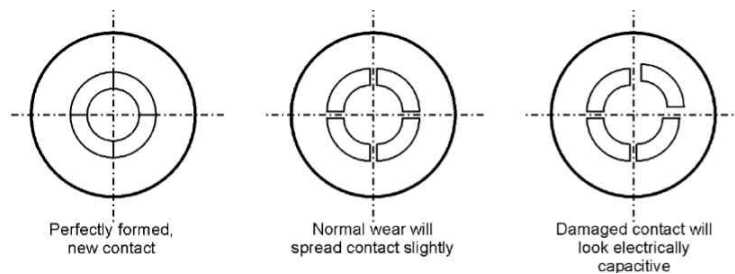
다음으로 밀리미터파 사용에 따른 새로운 무선국 검사의 필요성을 살펴본다. 현재까지의 이동통신 주파수는 3 GHz 이하의 마이크로파 대역을 주로 사용하였다. 하지만 5G NR의 경우 수십 GHz 대역으로 올라감에 따라 다음과 같은 문제가 발생한다.

먼저, 송신기 전력증폭기의 출력임피던스는 일반적으로 50Ω이 아니다. 하지만 직결측정을 위해 50Ω으로 임피던스 매칭을 하게 되면 실제 전력증폭기의 출력에서 차이가 발생한다. 다시 말해 실제 EIRP는 전력증폭기와 안테나 이득의 곱으로 주어지지 않는다. 3GHz 이하에서는 이 차이가 크지 않지만 밀리미터파 대역에서는 이 차이가 커지게 된다. 다음으로 밀리미터 파 시스템은 크기가 매우 작아 표준 커넥터를 연결할 공간이 부족하거나 불가능해진다. 심지어 공간의 여유가 있다고 하더라도 massive MIMO와 같이 안테나 개수가 많아질 경우 커넥터를 부착할 수는 없다. 따라서 밀리미터파 대역에서 무선국검사를 위한 측정단자 부착은 제조사에 매우 큰 부담으로 작용한다.

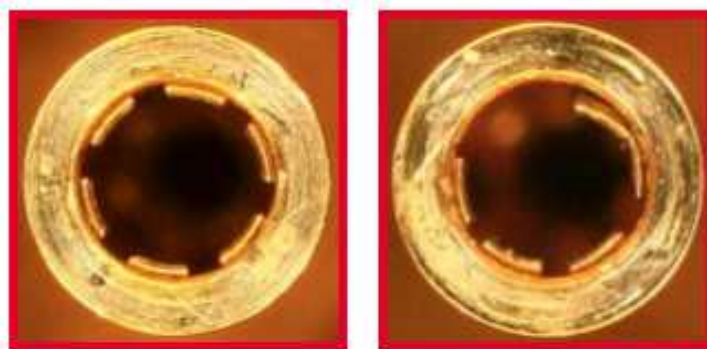
먼저 일반적으로 사용되는 동축케이블 커넥터의 종류는 <그림 4-8>와 같다. 현재 기지국은 일반적으로 3 GHz 이하의 주파수 대역에서 동작하며, 5차 스퍼리어스 측정을 하더라도 15 GHz 이하이므로 일반적인 SMA (SubMiniature version A) 커넥터를 사용한다. 하지만 주파수가 밀리미터파 대역으로 올라가면 더 이상 SMA 커넥터를 사용할 수 없으며, 작으면서도 정밀한 커넥터를 사용해야 한다. 작으면서도 정밀한 커넥터가 존재하지만 이 경우 내부 직경이 작아지며, 정밀해지므로 가격이 비싸질 뿐만 아니라 케이블 연결 시 쉽게 망가지는 문제가 발생한다. <그림 4-9>에 동축커넥터의 고장 사례 및 실제 망가진 경우의 사진을 보여준다.

| Connector Type | | Frequency Range | Mates with... | Notes |
|---|--------|-----------------|---------------|--|
|  | 1.0mm | To 110 GHz | 1.0 mm | Much smaller connector than any of those below. |
|  | 1.85mm | To 70 GHz | 2.4 mm | The outer thread size of the 1.85 and 2.4 connectors is bigger than SMA, 3.5, and 2.92. This makes the area of the outer conductor mating surface look very large compared to the relatively small air dielectric. |
|  | 2.4mm | To 50 GHz | 1.85 mm | The 1.85 mm connector that is manufactured at Keysight has a groove in the male nut and female shoulder to distinguish these two connector types. |
|  | 2.92mm | To 40 GHz | 3.5mm | These two connectors use the same center pin. |
|  | 3.5mm | To 34 GHz | 2.92 mm & SMA | |
|  | SMA | To 24 GHz | 3.5 mm | Uses a PTFE dielectric. |

<그림 4-8> 동축커넥터의 종류



(a) 고장 사례의 종류



(b) 실제 고장난 커넥터의 사진

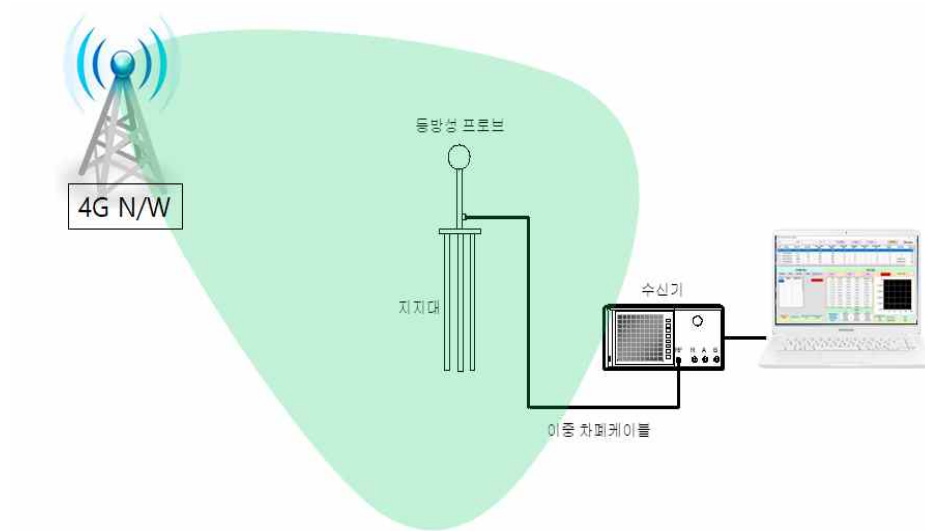
<그림 4-9> 동축커넥터의 고장 사례

4.2.3.4 전자파강도 측정과의 통합관점

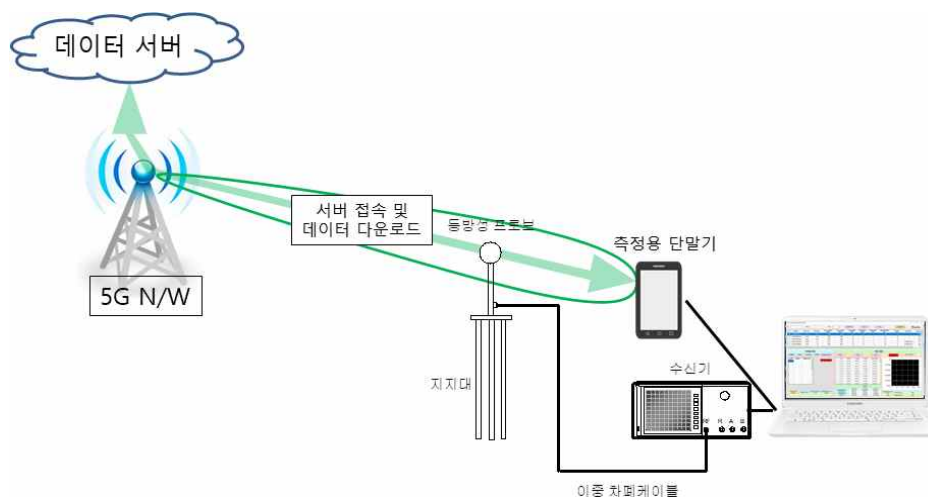
마지막으로 전자파인체영향과 관련된 기지국 전자파강도 측정과의 통합 관점을 고려해야 한다. 이동통신 기지국 관련된 측정에는 무선국검사와 전자파강도 측정의 두 가지가 있는데, 과거에는 두 검사가 분리되어 있었다. 즉, 무선국검사는 직결측정 방식으로 기지국 안테나단에 입력되는 무선신호의 특성을 측정하는 것이고, 기지국 전자파강도 측정은 기지국에서 가장 강한 신호가 나는 위치를 찾아 복사되는 전자파강도를 측정하는 것이었다. 하지만 무선국검사가 OTA 방식으로 바뀌게 되면 전자파강도 측정과 큰 차이가 없어진다. 물론 전자파강도 측정은 3축 전자파강도 프로브를 이용하고, 기지국 OTA 측정은 안테나를 이용하는 차이가 있지만 많은 부분이 동일하게 된다. 따라서 미래의 OTA 방식의 기지국검사방법을 정립할 때는 무선국검사와 전자파강도 측정을 통합하는 방향으로 나아가야 할 것이다.

현재 5G 기지국의 전자파강도 측정 방법은 다양한 방식이 고려중이나, <그림 4-10>과 같이 빔이 고정된 4G LTE 측정과의 다른 방식이 필요하다. <그림 4-10(a)>처럼 빔이 고정된 경우 등방성 프로브의 위치를 최대 전자파강도가 측정되는 지점에 위치시키고 6분간 스펙트럼 분석기의 채널파워를 측정하여 전자파강도의 세기를 도출하고 있다. 반면 <그림 4-10(b)>처럼 빔의 움직이는 5G의 경우는 측정용 단말기를 이용해 대용량 데이터 서버에 단말기를 접속하여 데이터를 다운로드 하는 상태에서, 3축 등방성 프로브, 지지대, 스펙트럼분석기, 노트북, 측정 프로그램을 이용하여 전자파강도를 측정하여야 한다. 측정용 단말기는 대용량 데이터 서버에 접속하여 같은 지점에서 데이터 스트리밍을 최소 6분 이상 지속 받을 수 있도록 하는 역할을 한다. 이렇게 되면 측정하는 동안 프로브가 위치한 지점으로 빔이 지속적으로 형성되도록 하는 역할을 할 수 있다. 좀 더 정밀한 측정을 위해 <그림 4-10(b)>에서 채널파워를 측정하지 않고 복조 기능이 탑재된 스펙트럼분석기를 사용하거나, 휴대용 스펙트럼분석기의 제로스팬 기능을 이용하여 기준신호를 측정하게 되면

최대 전자파강도를 추정하는 방식도 현재 표준화 등에서 논의 중에 있으므로 참고할 수 있다.



(a) 4G 이하 전자파강도 측정 방법 예



(b) 5G 전자파강도 측정 방법 예

<그림 4-10> 전자파강도 측정 방법 비교

제3절 3GPP 5G NR 기지국 OTA 측정표준

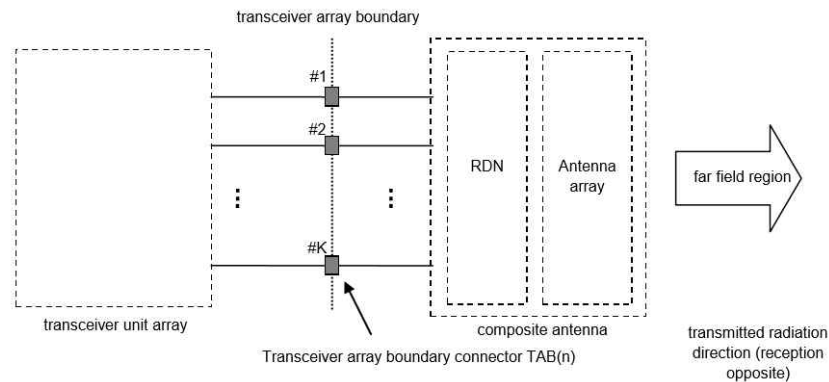
4.3.1 3GPP 기지국 OTA 측정 표준 개요

3GPP에서는 MIMO 기술의 발달에 따라 MIMO OTA 측정 방법을 표준화하였다. 주요 표준은 <표 4-10>과 같다. 먼저 단말기의 경우 MIMO OTA 측정 표준이 3GPP RAN4에서 TR 37.977로 표준화되었다. 기지국의 경우 AAS가 등장함에 따라 이를 측정할 수 있는 측정기술로 TR37.842와 TR37.843이 발간되었고 측정표준은 TS 37.145 표준이 발표되었다. TS 37.145 표준은 기존 TS 36.104 기지국 측정 표준을 AAS 기지국에 적용할 수 있도록 확대한 표준으로써 TS 37.145-1과 TS 37.145-2로 나눌 수 있다. 두 표준 중 TS 37.145-1은 AAS를 conducted 방식으로 측정하는 규격이, TS 37.145-2는 Radiated 방식으로 측정하는 규격이다. 단, TS 37.145-2는 전자파 차폐실을 이용하는 성능검사용 규격으로써 본 연구에서 수행하는 기지국 OTA 현장 측정에 바로 적용할 수는 없지만 그 기본 원리는 동일하다.

<표 4-10> 3GPP OTA 측정 관련 주요 표준

| 문선번호 | 제목 | 비고 |
|-------------|--|----|
| TR 37.977 | Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Verification of radiated multi-antenna reception performance of User Equipment (UE) | |
| TR 37.842 | Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Universal Terrestrial Radio Access (UTRA); Radio Frequency (RF) requirement background for Active Antenna System (AAS) Base Station (BS) | |
| TR 37.843 | Radio Frequency (RF) requirement background for Active Antenna System (AAS) Base Station (BS) radiated requirements | |
| TR 37.145-1 | Active Antenna System (AAS) Base Station (BS) conformance testing; Part 1: conducted conformance testing | |
| TR 37.145-2 | Active Antenna System (AAS) Base Station (BS) conformance testing; Part 2: radiated conformance testing | |

AAS 기지국에 대한 3GPP MIMO OTA 측정표준을 살펴보기 전에 먼저, 3GPP Release 13에서 고려하는 AAS의 구성은 <그림 4-11>과 같다. 기존의 수동 안테나의 경우 안테나 단자의 출력에 안테나 이득을 곱하면 EIRP가 계산되는 것과 달리 AAS는 빔포밍 회로인 RDN 회로가 있으므로 이를 고려해야 한다. 그림에서 알 수 있듯이 송수신기와 복합 안테나 사이에 복수 개의 커넥터를 기준으로 하는데 이 기준점을 TAB 커넥터 (Transceiver array boundary connector)라고 정의한다. AAS BS 측정의 경우 직결측정은 TAB에서 OTA 측정은 far-field 조건에서 수행하게 된다.



<그림 4-11> AAS BS의 기지국 송신기 측정 기준점

기본적으로 OTA 측정을 위해서는 EVM, ACLR, EIRP 등이 OTA로 공간상에서 측정되어야 하는데, 이러한 값들이 공간상의 좌표의 함수로 표현된다는 것이 문제가 된다. 따라서 현재까지는 대부분의 성능 측정은 TAB에서의 직결측정으로 수행하고 일부 방사특성인 Radiated transmit power와 OTA sensitivity 만을 OTA 방식으로 측정하기를 권고하고 있다.

4.3.2 TS 37.145-1 표준 소개

3GPP Release 13에서 AAS 기지국의 RF 성능측정 중 Conducted 방식의 측정을 위한 표준으로 발표된 문서가 TS-37.145-1 문서이다. TS-37.145-1 표준에서 기지국 송신기와 관련된 측정항목 만을 정리하면 <표 4-11>과 같다.

<표 4-11> 3GPP TS-37.145-1의 송신기 측정항목

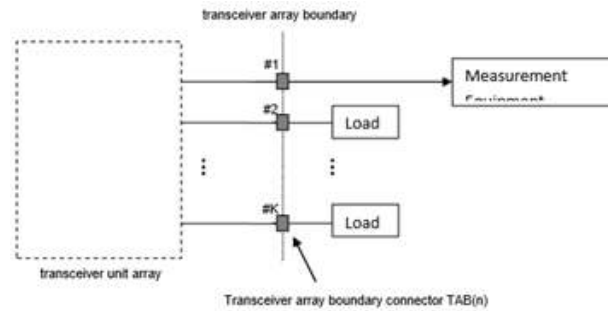
| 항목 | 세부항목 | 비고 |
|-----------------------------|---|----------|
| BS Output power | Maximum output power | |
| | UTRA FDD primary CPICH power | |
| | UTRA TDD primary CCPCH power | |
| | UTRA FDD additional CPICH power for MIMO mode | |
| | E-UTRA DL RS power | |
| Output power dynamics | UTRA inner loop power control in the downlink | |
| | Power control dynamic range | |
| | Total power dynamic range | |
| | IPDL time mask | |
| | RE power control dynamic range | |
| Transmit ON/OFF power | Transmitter OFF power | |
| | Transmitter transient period | |
| Transmitted signal quality | Frequency error | 신호 품질 측정 |
| | TAE (Time alignment error) | |
| | Modulation quality | |
| Unwanted emissions | Occupied BW | |
| | ACLR | |
| | Spectrum emission mask | |
| | Operating band unwanted emission | |
| | Transmitter spurious emission | |
| Transmitter intermodulation | - | |

<표 4-11>과 국내 무선국검사 항목을 비교해 보면, 국내 무선국 검사 항목이 3GPP 표준에서 제시하는 검사 항목의 일부만을 측정하고 있는 것을 알 수 있다. 특히 신호 품질항목인 TAE와 Modulation quality 항목에 대한 측정은 향후 국내 무선국 검사에서도 측정할 수 있도록 노력할 필요가 있다. TAE는 신호/송신기구조/송신모드의 특정한 조합에 있어서 어떤 두 신호들 사이의 가장 큰 시간 차이를 의미하며, TX Diversity, MIMO 전송, 반송파집적(CA) 등의 성능에 영향을 미치게 되므로 중요한 측정항목이다.

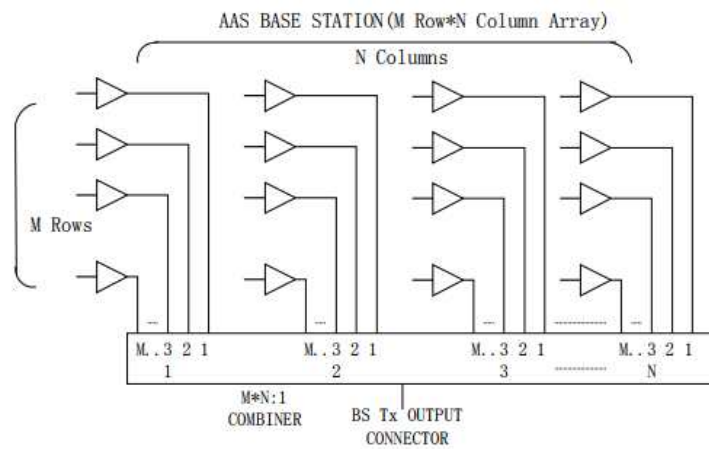
직결측정 중 송신부의 최대 출력전력은 <그림 4-11>과 같다. <그림 4-11(a)>에서는 하나의 단자에서만 측정을 하고 나머지 단자에서는 그 숫자만큼 dB 값을 더하면 된다. 만약 2개의 송수신부가 있다면 하나의 측정값에 $10\log(2)$ 인 3dB를 더하면 된다. <그림 4-11(b)>의 경우는 각 안테나 단자에서 나오는 신호를 결합하는 결합기가 있는 경우에는 결합기의 출력을 최대 출력값으로 측정하게 된다. 측정된 최대 출력 전력이 +2.0dB와 -2.0dB 내에 들어오면 규격을 만족한 것으로 판단한다. 5G NR Massive MIMO의 경우 송수신부가 여러 개로 모든 직결측정 port 별로 측정 단자를 뽑는 것이 어렵다면 <그림 4-12(a)>에서와 같이 안테나 port 한 개의 출력을 방향성 결합기를 이용하여 외부 단자로 뽑아서 측정하는 것이 필요할 것으로 보인다. 단, 이 경우 TAE 등 두 개 이상의 단자간의 시간차이를 측정하는 항목은 측정이 어렵다.

<그림 4-12>에서 제시한 방법은 기본적으로 단자가 수 개인 경우에는 적용이 가능하지만 단자가 수십 개 이상인 Massive MIMO 환경에서는 적용이 어렵다. 먼저 물리적으로 각 단자별 부하를 연결하거나 결합기를 연결할 수 있는 공간적 제약이 따른다. 전기적으로도 전력손실이 문제가 된다. 결합기의 경우 2:1의 결합기를 병렬로 연결해야 하는데 8 단자를 결합할 경우 첫단에서 2:1결합기 4개, 두 번째 단에서 2:1결합기 2개, 세 번째 단에서 2:1결합기 1개가 필요하다. 단일 많아질수록 전력손실이 증가하게 된다. 단자의 수에 비례하여 결합기의 수가 증가하게 되

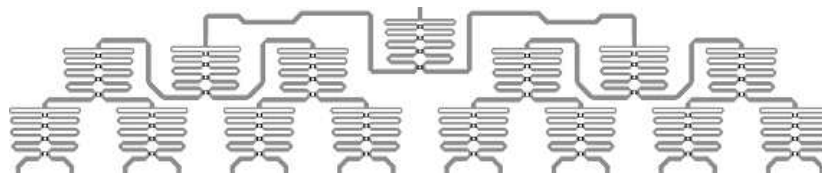
는데 이 경우 전력손실 역시 증가하고 단가의 상승 등이 발생한다. <그림 4-11(c)>에 2.7GHz에서 동작하는 상용 16:1 power combiner⁹⁾를 보여주고 있는데, 2.7GHz에서 1.8dB의 손실이 발생한다.



(a)



(b)



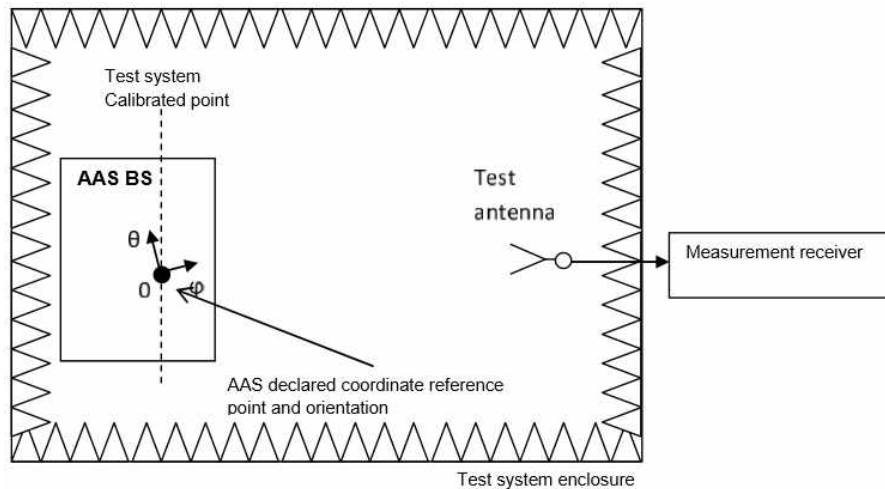
(c)

<그림 4-12> AAS BS 송신부의 직결측정 방법

9) www.instockwireless.com참조

4.3.3 TS 37.145-2 표준 소개

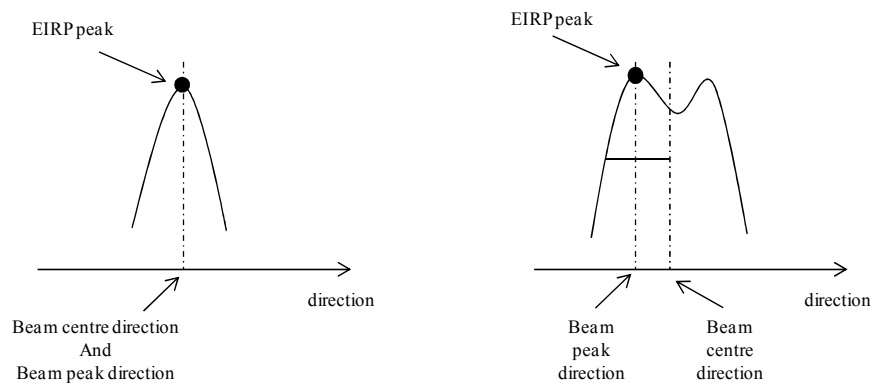
3GPP Release 13에서 AAS 기지국의 RF 성능측정 중 Radiated 방식의 측정을 위한 표준으로 2016년 말에 발표된 문서가 TS-37.145-2 문서이다. AAS의 Radiated 측정점은 <그림 4-13>과 같다. <그림 4-13>은 기지국의 위치를 특정 3차원 좌표계로 정밀하게 이동할 수 있는 포지셔너를 갖는 챔버를 사용할 경우에 해당한다.



<그림 4-13> AAS BS의 기지국 송신기 OTA 측정 기준점

EIRP 측정을 위해서는 다음과 같은 용어 정의가 필요하다. 먼저 안테나의 빔(beam)이란 배열 안테나에서 만들어지는 방사패턴의 주엽(main lobe)를 의미한다. 빔에는 cell specific beam과 UE(또는 user) specific beam이 있는데 cell specific beam은 셀 내의 모든 UE와 통신하기 위한 빔을 말하며 UE specific beam은 특정한 UE 또는 특정한 UE들의 그룹을 위한 빔을 의미한다. 빔의 형태는 <그림 4-14>와 같이 다양한 형태를 가질 수 있다. <그림 4-14>의 왼쪽 빔은 빔의 중심 위치에 대해 대칭구조를 가지고 있어 beam의 중심(beam center direction)과 beam의

피크방향 (beam peak direction)이 같지만, 오른쪽 빔은 빔의 중심과 beam의 피크 방향이 다르다. EIRP는 빔의 중심방향이 아닌 피크 방향에서 정의된다.



<그림 4-14> beam direction pair의 예

AAS BS 시스템에서 빔과 관련된 파라미터는 다음과 같다.

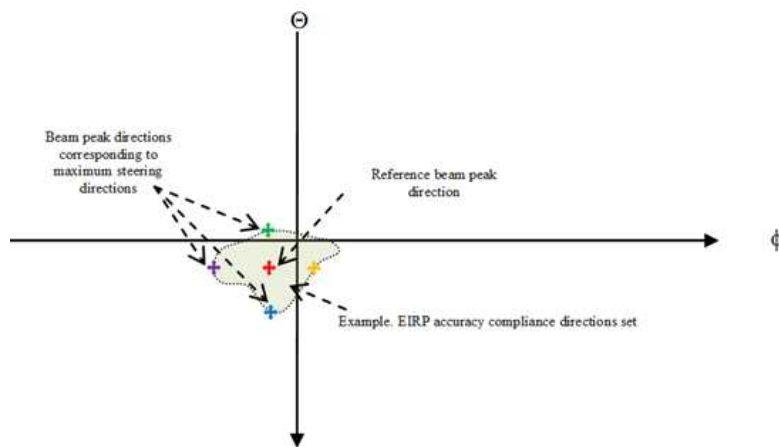
- 1) a beam identifier
- 2) A reference beam direction pair : reference beam peak direction과 reference beam center direction 포함
- 3) beamwidth(빔폭) : beam direction pair 당 하나의 빔폭 가짐

TS-37.145-2 표준에서 기지국 송신기와 관련된 측정항목은 Radiated transmit power만을 측정하며 기지국 수신기의 경우 OTA sensitivity만을 측정한다. Radiated transmitted power는 AAS BS가 선언한 특정한 빔의 피크 방향에서의 EIRP 레벨로 정의된다. 측정 절차는 다음과 같다.

- 1) AAS BS를 포지셔너에 위치시킨다.
- 2) 제조사가 선언한 좌표계에 따라 측정시스템을 위치시킨다.
- 3) 측정될 빔의 beam peak direction의 방향에 일치시킨다.
- 4) 기지국이 테스트모드를 사용하여 신호를 송신한다. 만약 다중

- 캐리어나 CA 동작을 할 경우에는 그에 맞는 절차를 따른다.
- 5) 측정 시 제조사가 선언한 빔 별로 <그림 4-15>와 같이 5개의 위치에서 빔을 측정한다.
 - 6) 각 위치에서 EIRP를 측정한다. 단 두 개의 교차편파(p1 과 p2)를 사용할 경우 EIRP는 두 개의 EIRP의 합이 된다.
 - 7) 모든 선언된 빔의 방향에 따라 3에서 6의 절차를 반복한다.

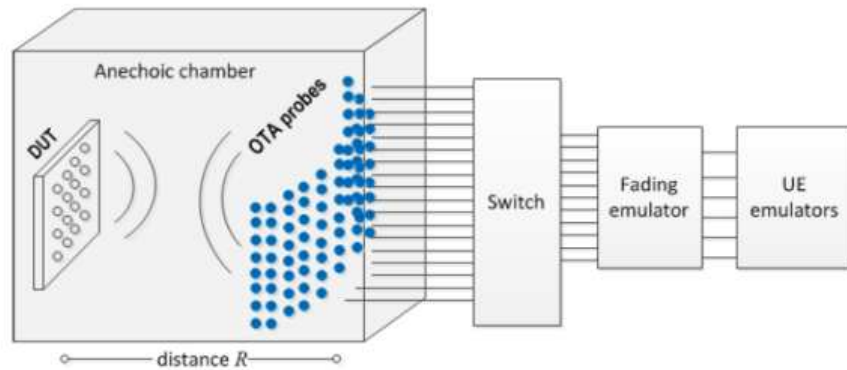
이렇게 측정된 EIRP의 경우 3GHz 이하에서는 기준의 +3.2dB와 -3.2dB 내에 들어오거나 3GHz에서 4.2GHz 사이에서는 +3.4dB와 -3.4dB 내에 들어오면 EIRP가 만족된 것으로 본다. 4.2GHz 이상에서는 아직까지 표준으로 정의되어 있지 않으며, 향후 5G 도래에 따라 정의될 것으로 기대된다.



<그림 4-15> 각 빔별 측정 위치

만약에 기지국 안테나 측정 시 안테나 위치를 조정할 포지셔너 없는 챔버의 경우 <그림 4-16>과 같은 구조의 OTA 측정장비를 구성할 수 있다. 기지국의 빔 방향은 단말기와 달리 정방향이나 아니라 기지국 전면부로 방사되므로 OTA probe 배열을 이용하여 측정할 수 있다. 단, 원역장 조건에서 probe에 동위상으로 전파가 입사하기 위한 probe의 배치와 교정, 기지국 빔폭이 좁은 경우 probe의 배치 및 수, UE 에뮬레이터를

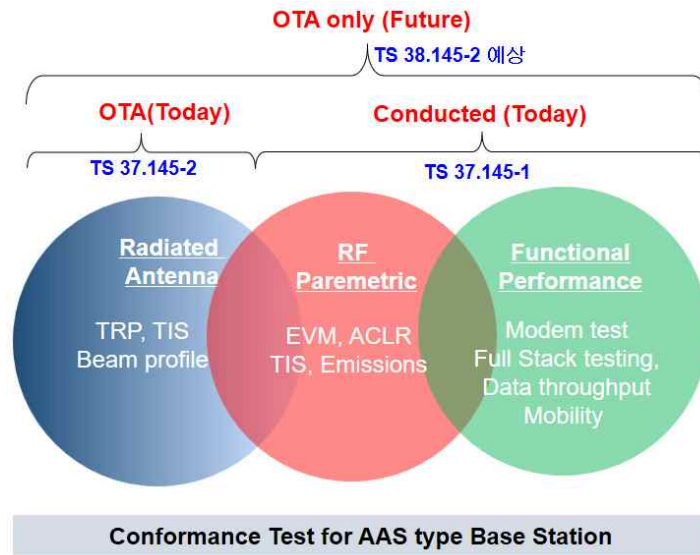
통한 빔 트래킹 환경 구축, 자유공간에서의 전파손실의 극복 등의 이슈가 있어 지속적인 연구가 필요하다. 특히, 다중 사용자가 있는 경우 OTA 측정은 아직까지 해결되지 않은 연구영역으로 추가적인 연구가 필요하다.



<그림 4-16> probe 배열을 이용한 기지국 OTA 측정

4.3.4 TS 38.145-2 진행상황 소개

3GPP Release 15에서는 TS 37.145-2를 확장하여 TS 38.141-2 표준을 준비 중에 있다. 큰 변화는 <그림 4-16>에서와 같이 기지국의 경우 단말기와는 달리 일부 항목만을 OTA로 측정하고, 대부분의 항목은 직결 측정하던 방식에서 모든 항목을 OTA로 측정하는 것으로 변하고 있다는 것이다. <표 4-12>에서 알 수 있듯이 TS 38.145-2의 측정 항목 자체가 모두 OTA로 측정하고 있다.



<그림 4-17> 기지국 OTA 측정 발전 단계

<표 4-12> TS 37.145-2와 TS 38.141-2의 항목 비교

| 항목 | TS 37.145-2 | TS 38.141-2 |
|-----------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 송신기 측정 항목 | Radiated transmit power | Radiated transmit power |
| | - | OTA BS output power |
| | - | OTA output power dynamics |
| | - | OTA Transmit ON/OFF power |
| | - | OTA Transmitted signal quality |
| | - | OTA unwanted emissions |
| | - | OTA transmitter intermodulation |
| 수신기 측정 항목 | OTA sensitivity | OTA sensitivity |
| | - | OTA reference sensitivity level |
| | - | OTA dynamic range |
| | - | OTA in-band selectivity and blocking |
| | - | OTA out-of-band blocking |
| | - | OTA receiver spurious emissions |
| | - | OTA receiver intermodulation |
| | - | OTA in-channel selectivity |

TS 38.141-2 표준에서 제시하는 송신기 OTA 측정항목은 <표 4-13>과 같다.

<표 4-13> TS 38.141-2의 TX OTA 측정항목

| 항목 | | 분류 | 비고 |
|--------------------------------------|--|-------------------------------------|-----------------------|
| Radiated transmit power | | Directional-OTA peak directions set | Rel-13 AAS BS 기준 참고 |
| OTA BS output power | | TRP | |
| OTA output power dynamics | | Directional-OTA peak directions set | 기준방향에서 수행 |
| OTA Transmit ON/OFF power | | FR1 | |
| | | Co-location | |
| OTA transient period | | FR2 | |
| OTA frequency error | | TRP | |
| OTA time alignment error | | Directional-OTA coverage range | 기준방향에서 수행, 각측에서 최대 방향 |
| OTA occupied bandwidth | | Directional-OTA coverage range | 기준방향에서 수행 |
| OTA ACLR | | Directional-OTA coverage range | 기준방향에서 수행 |
| OTA operating band unwanted emission | | TRP | |
| OTA transmitter spurious emission | Mandatory | TRP | For FR1 and FR2 |
| | Protection of the BS receiver of own or different BS | Co-location | For FR1 only |
| | Additional spurious emissions | TRP | For FR1 only |
| | Co-location with other base stations | Co-location | For FR1 only |
| OTA transmitter intermodulation | | Co-location | For FR1 only |

※ TRP(Total Radiated Power)는 기지국에서 자유공간으로 방사하는 총 전력을 의미한다. EIRP와의 차이점은 TRP의 경우 수직편파와 수평편파에서 수신된 전력을 모두 합하기 때문에, 한 편파만을 가지고 측정하는 EIRP와는 차이가 발생한다.

각 측정항목별로 최대 불확실성은 FR1과 FR2주파수 대역에 대해 <표 4-14>와 <표 4-15>와 같이 주어진다.

<표 4-14> TS 38.141-2의 FR1 대역의 TX OTA 측정 오차

| 항목 | | 오차 | 비고 |
|--------------------------------------|--|--|--|
| Radiated transmit power | | $\pm 1.1\text{dB}$ $f \leq 3\text{GHz}$ $\pm 1.3\text{dB}$ $3\text{GHz} < f \leq 6\text{GHz}$ | Normal condition |
| OTA BS output power | | $\pm 1.4\text{dB}$ $f \leq 3\text{GHz}$ $\pm 1.5\text{dB}$ $3\text{GHz} < f \leq 4.2\text{GHz}$ $\pm 1.5\text{dB}$ $4.2\text{GHz} < f \leq 6\text{GHz}$ | |
| OTA output power dynamics | | $\pm 0.4\text{dB}$ | |
| OTA frequency error | | $\pm 12\text{Hz}$ | |
| OTA Modulation quality | | 1% | |
| OTA time alignment error | | $\pm 25\text{ns}$ | |
| OTA occupied bandwidth | | $\pm 100\text{kHz}$ $\pm 300\text{kHz}$ $\pm 600\text{kHz}$ | 5/10 MHz 15/20/25/30/40/50 MHz 60/70/80/90/100 MHz |
| OTA ACLR | | <ACLR> $\pm 1\text{dB}$ $f \leq 3\text{GHz}$ $\pm 1.2\text{dB}$ $3\text{GHz} < f \leq 4.2\text{GHz}$ $\pm 1.2\text{dB}$ $4.2\text{GHz} < f \leq 6\text{GHz}$ <Absolute power> $\pm 2.2\text{dB}$ $f \leq 3\text{GHz}$ $\pm 2.7\text{dB}$ $3\text{GHz} < f \leq 4.2\text{GHz}$ $\pm 2.7\text{dB}$ $4.2\text{GHz} < f \leq 6\text{GHz}$ | |
| OTA operating band unwanted emission | | $\pm 1.8\text{dB}$ $f \leq 3\text{GHz}$ $\pm 2.0\text{dB}$ $3\text{GHz} < f \leq 4.2\text{GHz}$ $\pm 2.0\text{dB}$ $4.2\text{GHz} < f \leq 6\text{GHz}$ | <Absolute power> |
| OTA transmitter spurious emission | Mandatory | $\pm 2.3\text{dB}$ $30\text{MHz} < f \leq 6\text{GHz}$ $\pm 4.2\text{dB}$ $6\text{GHz} < f \leq 19\text{GHz}$ | |
| | Protection of the BS receiver of own or different BS | $\pm 3.1\text{dB}$ $f \leq 3\text{GHz}$ $\pm 3.3\text{dB}$ $3\text{GHz} < f \leq 4.2\text{GHz}$ $\pm 3.4\text{dB}$ $4.2\text{GHz} < f \leq 6\text{GHz}$ | |
| | Additional spurious emissions | $\pm 2.6\text{dB}$ $f \leq 3\text{GHz}$ $\pm 3.0\text{dB}$ $3\text{GHz} < f \leq 4.2\text{GHz}$ $\pm 3.5\text{dB}$ $4.2\text{GHz} < f \leq 6\text{GHz}$ | |
| | Co-location with other base stations | $\pm 3.1\text{dB}$ $f \leq 3\text{GHz}$ $\pm 3.3\text{dB}$ $3\text{GHz} < f \leq 4.2\text{GHz}$ $\pm 3.4\text{dB}$ $4.2\text{GHz} < f \leq 6\text{GHz}$ | |
| OTA transmitter intermodulation | | - | |

<표 4-15> TS 38.141-2의 FR2 대역의 TX OTA 측정 오차

| 항목 | 오차 | 비고 |
|---|--|----|
| Radiated transmit power | $\pm 1.7\text{dB}$ (24.25-29.25Hz) $\pm 2.0\text{dB}$ (37-40GHz) | |
| OTA BS output power | $\pm 2.1\text{dB}$ (24.25-29.25Hz) $\pm 2.4\text{dB}$ (37-40GHz) | |
| OTA output power dynamics | $\pm 0.4\text{dB}$ | |
| OTA frequency error | $\pm 12\text{Hz}$ | |
| OTA Modulation quality | 1% | |
| OTA time alignment error | $\pm 25\text{ns}$ | |
| OTA occupied bandwidth | [600]kHz | |
| OTA ACLR | <Relative ACLR> $\pm 2.3\text{dB}$ (24.25-29.25Hz) $\pm 2.6\text{dB}$ (37-40GHz) <Absolute power> $\pm 2.7\text{dB}$ | |
| OTA operating band unwanted emission | $\pm 2.7\text{dB}$ | |

표준에서는 NR OTA 측정을 위한 Test mode를 정의하고 있는데 <표 4-16>과 같다.

<표 4-16> 5G NR OTA 측정을 위한 Test Mode

| Test Mode | 측정 항목 | 비고 |
|--------------------------------|--|----|
| NR test mode 1.1 (NR-TM1.1) | <ul style="list-style-type: none"> - BS output power - Unwanted emissions - Occupied bandwidth - ACLR - Operating band unwanted emissions - Transmitter spurious emissions | |
| NR test mode 2 (NR-TM2) | <ul style="list-style-type: none"> - Total power dynamic range - EVM of single 64QAM PRB allocation - Frequency error (at min power) | |
| NR test mode 3.1 (NR-TM3.1) | <ul style="list-style-type: none"> - Output power dynamics - Total power dynamic range - Transmitted signal quality - Frequency error - EVM for 64QAM modulation | |

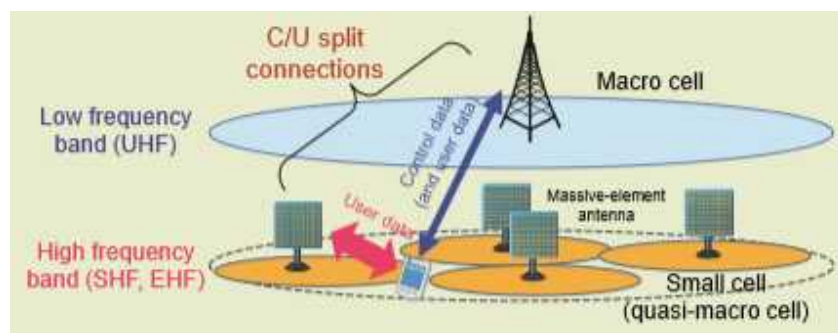
제5장 5G NR 기지국 측정환경 분석

제5장 5G NR 기지국 측정환경 분석

무선국 검사에서 OTA 측정은 전자파차폐실에서 수행하는 성능검사나 이동통신사업자가 측정하는 무선망 최적화(품질, 전파도달 범위 등) 측정과 달리 절대적인 기준을 가지고 측정하고 검사통과여부를 판단해야 한다는 어려움이 있다. 따라서 측정 거리와 위치에 따라 달라지는 결과를 최소화할 해야 할 뿐만 아니라 측정할 수 없는 경우도 발생할 수 있으므로, 이에 대한 환경 분석과 측정 조건을 분석하는 것이 필요하다. 본 장에서 다루어질 내용은 아직 5G 서비스 초기 시점이라 다양한 조건 분석에는 한계가 있으므로 일반적인 환경에 대해 조사 분석하였다.

제1절 5G NR 기지국 구축 현황

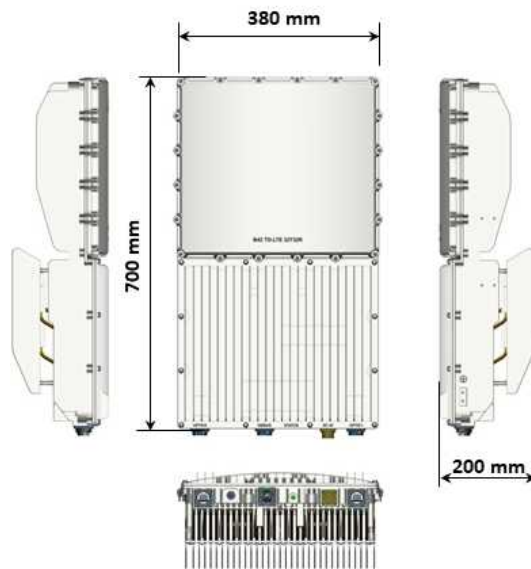
5G 이동통신의 기본구조 중의 하나로 Phantom 셀 개념이 있다. Phantom 셀은 기존의 매크로 셀이 스몰 셀들을 포함하여 망을 구성하며, 매크로셀은 UHF(0.3~3GHz) 대역을 사용하며, 스몰 셀은 SHF(3~6 GHz) 대역과 high SHF 대역(6~30GHz)을 혼합하여 사용하게 된다. 국내의 경우 3GPP NR 주파수 할당 대역 N78 (3300~3800MHz) 대역과 N257 (26500~29500MHz) 대역을 사용한다.



<그림 5-1> Phantom 셀 개념 [출처: NTT DoCoMo]

5.1.1 3.5GHz 5G NR 기지국 구축 현황

5G의 가장 큰 특징으로 는 MU-MIMO와 빔포밍을 위해 안테나의 개수가 큰 Massive MIMO를 사용한다는 것이다. 하지만 실제 안테나 구성은 주파수대역과 RF 송수신부의 수의 제약조건으로 4T4R, 8T8R, 32TR, 64TR, 128TR, 256TR, 512TR 등이 일반적이다. 6GHz 이하의 요구 규격인 5G NR FR1에서는 주로 Massive MIMO를 위한 빔포밍 기지국의 경우 32TR과 64TR을 고려해 왔다. 초기에는 64TR의 기술적 효율성을 고려하여 개발을 진행해 왔지만 국내 일체형 빔포밍 기지국의 일반적인 설치 대상은 <그림 5-2> 및 <표 5-1>과 같은 32TR 기지국이다. 5G 기지국은 안테나와 송수신 모듈 일체형으로 구성되어 타워 윗부분에 설치된다. 보통 안테나의 크기를 35cm x 35cm 이내라고 하면 안테나의 대각선 지름은 50cm이므로 3.5GHz 원거리장(Far-field) 영역은 5.83m 이상이 되어야 한다. 따라서 측정거리는 약 6m 이상에서 LOS 및 Bore sight가 확보되는 지점이 최적의 OTA 측정지점이 된다.



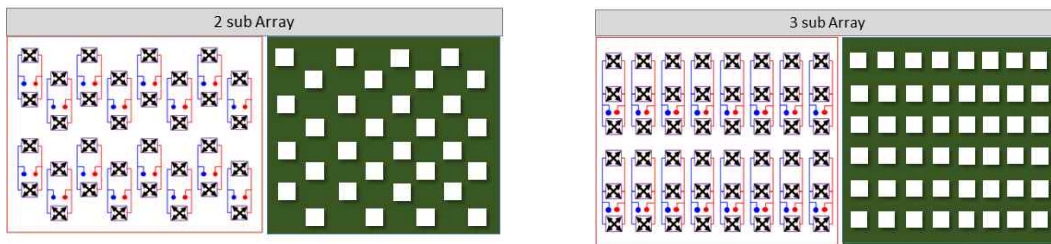
<그림 5-2> Nokia 5G NR 3.5GHz 기지국 형상

<표 5-1> Nokia 5G NR FR1 32TR 기지국 사양

| 구분 | 항목 | 3.5GHz 규격 | 비고 |
|---------------------|---------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| RF requirements | Frequency Band | 3400~3700 MHz | |
| | Duplex mode | TDD | |
| | iBW | 100 MHz | |
| | Occupied BW | 100 MHz | |
| | Carrier bandwidth | 100 MHz | |
| | No. of antenna element | 96 Radiators | polarization +45° and -45° |
| | No. of TRx path | 32 | |
| | Total RF power | 80 W | 64QAM, ACLR ≤ -45dBc, EVM ≤ 5% |
| | Output power per Tx chain | 2.5W | |
| | Total EIRP | 71.5 dBm | |
| Mechanical | Weight | 22.5 kg | < 50 lb |
| | Dimension | 380x700x200 | |
| | Volume | ≤ 53.2 L | |
| | CPRI | 2x SFP28 | Rate10 25Gbps |
| | Maintenance | HDMI & RJ-45/mini USB | |
| | Module status monitor | 3-color LED | |
| Ext. interface | TX status monitor | 3-color LED | |
| | Power supply | DC -48V [external AC converter] | 100~300V external AC converter |
| Power consumption | | ≤ 840W | 75% duty cycle |
| Working temperature | | - 40°C to 50°C | Including Solar Radiation |
| Cooling | | Natural convection cooling w/o fans | |
| Waterproof | | IP65 | |

<표 5-1>의 Nokia 5G 기지국 상세 제원을 보면 기지국의 출력은 80W이며, 총 EIRP 는 71.5 dBm이 된다. Far-field 영역에서 자유공간손실의 계산값은 76.72 dB 이므로 계측기 입력단에서는 0 dBm 이상의 전

력이 입사 되는 것이며, 고이득 수신 안테나를 사용한다면 해당하는 안테나 이득 값만큼 더해져 입력될 수 있다. 이는 측정 장비의 입력포트 포화 구간을 넘을 수 있으므로 이러한 측면도 고려하여 측정거리를 정해한다. 측정 거리는 OTA 측정에 있어서 전력 포화를 피하면서도 어느정도 입력값 이상이 되어야 ACLR 및 Spurious 측정이 가능하므로 적절한 거리 분석은 매우 중요하다.



(a) Two sub array 시스템 (b) Three sub array 시스템
 <그림 5-3> 빔포밍 32TR 96 안테나 소자 구성(예)

또한 기지국 동기신호와 데이터 트래픽 빔의 방사패턴이 다르며, 또한 데이터 상황에 따라 빔의 개수가 달라질 수 있다. 또한 <그림 5-3>에서 처럼 한 개의 송수신 모듈에 붙는 안테나소자의 수에 따라 Sub array 종류가 다를 수 있다. 이는 안테나 지향성 개선을 위한 방안이며, TR의 개수를 늘리지 않고 해결 할 수 있는 방법으로 약 5도의 수직 빔 패턴 지향성 개선을 보인다. 2개의 안테나가 하나의 TR에 연결되면 2 sub array 시스템이고, 3개가 연결될 때 3 sub array 시스템이 된다. 이때 3 sub array 시스템은 5cm 정도 길이가 길어진다. 따라서 OTA 측정위치는 수직 빔과 수평 빔각을 정확히 알고 측정 지점과의 정확한 위치 계산을 통해 보상과정을 도출해야 한다.

<그림 5-4>의 경우 32TR 5G NR FR1 기지국으로서 3 sub-array 시스템으로 구성되어 최대 8개의 빔을 방사할 수 있는 빔포밍 기지국이다. 2018년 12월 이후 국내에서 서비스되고 있는 5G NR FR1 3.5GHz 대역에 대한 기지국의 구성은 위에서 설명한 32TR 3-Subarray 안테나 시스템

으로 구성된다.



<그림 5-4> 화웨이 5G NR FR1 32 TR 기지국(예)

삼성전자의 5G 기지국의 32TR 배열 구성은 약간 다른 구성을 갖는다. 16개의 탭포트 수직 2 배열이 아닌 8개의 탭포트 수직 4개의 배열로 구성되어 실제 서비스 각도는 90도로 운영한다. 따라서 제조사의 기지국의 특성에 따라 OTA 측정방법을 고려하여야 한다.

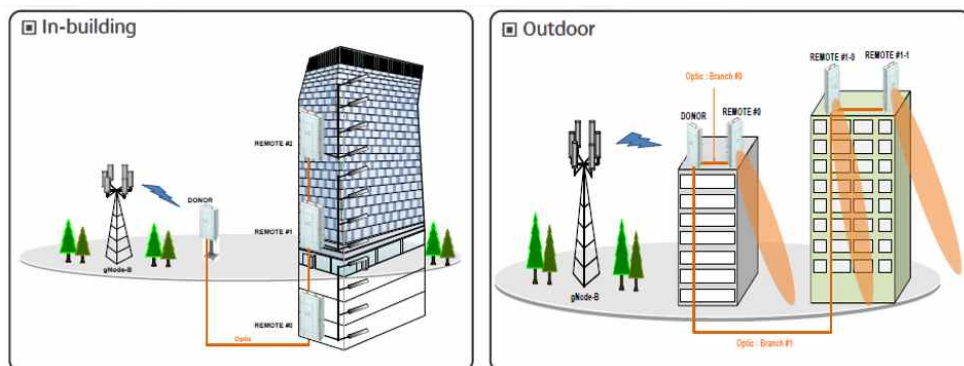


<그림 5-5> 삼성 5G NR FR1 32TR 기지국(예)

제2절 5G NR OTA 측정조건 분석

5.2.1 5G NR 기지국 설치 환경

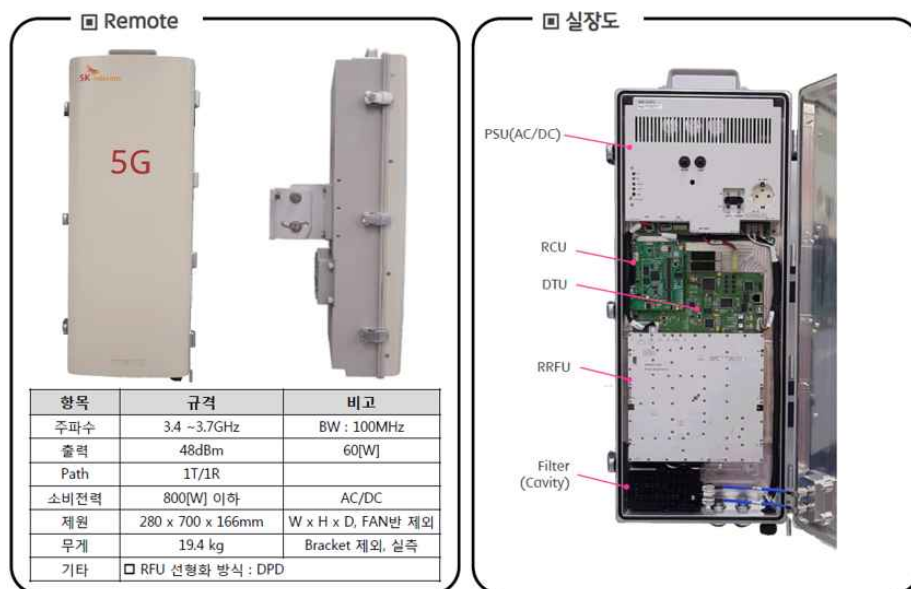
3.5GHz 대역에 대한 5G NR 무선국 설치 환경은 건물 내부의 옥내서비스와 옥외 이동통신 서비스로 분류할 수 있다. 옥내서비스의 경우 건물 옥상이나 외부에 5G 코어망과의 연결을 위한 무선백홀용 기지국과 내부 층들을 무선으로 연결할 수 있는 원격 분배 장치로 구성되며, 각층마다 지향성 또는 무지향성 안테나로 분기 서비스를 하는 구조로 구성된다. 옥외 서비스의 경우 이동 서비스를 위하여 기존의 개념과 유사하게 각 섹터별로 기지국을 설치하게 된다.



<그림 5-6> 5G 기지국 설치 사례

이러한 설치 환경에 따라 기지국은 대부분 건물 가장자리 또는 옥탑에 설치되므로 이를 고려한 측정방법을 고안하여야 한다. 32TR의 기지국의 OTA 기반 무선국 검사의 경우 두 가지 측정 영역을 설치 환경에 따라 고려하여야 한다. 즉, 전체 안테나 소자 방사의 경우 통상 안테나 개구면이 커지므로 25 m 이상의 Far-field 영역의 측정 거리를 확보하여야 하나, 건물 가장자리 설치의 경우 측정 거리 확보가 어렵기 때문에 한 개의 빔 또는 하나의 TR 방사 조건에서 원거리장 영역을 도출할 수 있는

방법으로 측정하는 방안을 고려하여야 한다. 옥내 서비스의 경우 옥내 분배장치는 직결을 통해 측정이 가능하며, 5G 무선 백홀용의 경우만 OTA 측정을 고려한다. 이 경우 역시 건물 가장자리 설치가 많을 수 있으며, 원거리장 영역 측정을 확보 할 수 있도록 부분 TR 및 하나의 TR 방사로 측정하는 방법을 적용한다.



| 항목 | | Donor | Remote |
|----------------------|-------------------------|----------------------------|------------------------|
| Frequency | Operating | 3.4 ~ 3.7GHz | |
| | Instantaneous Bandwidth | 100MHz | |
| System Configuration | Path | 1T1R | |
| | In-building | ANT 일체형 | ANT 분리형 |
| Input Power Range | | DL Input : -15 ~ -37dBm | UL Input : -50dBm(Max) |
| Max Output Power | | UL Output : 38dBm | DL Output : 48dBm |
| ACLR | | 30dBc(TBC) | 45dBc (TBC) |
| EVM (64QAM 기준) | | 8% 이내 | 8% 이내 |
| System Group Delay | | 4us(TBC) | |
| Frequency Tolerance | | ±0.05ppm (±177.5Hz@3.5GHz) | |
| DL / UL Isolation | | 80dB | |
| Antenna | Gain | 15dBi | |
| | HPBW | 65°(H) / 10°(V) | |
| Optic | Optic Loss | Distance: 2km max | |
| | Transceiver Type | SFP Bi-Directional | |
| | Wave length | DL1430nm/UL1490 ±8nm (TBC) | |
| | Connector Type | FC/APC | |
| | 전송 Rate | 5Gbps | |
| 입력전원 | | 220V AC | |
| 소모전력 | | 550W | 800W |
| Cooling 방식 | | FAN Cooling | |

<그림 5-7> 3.5 GHz 5G 원격 분배장치 사례

밀리미터파 대역 5G 기지국은 무선 백홀과 단말에 직접 무선 데이터를 서비스하는 경우로 네트워크가 구성된다. 현재까지 국내에서 이동 서비스를 위한 밀리미터 5G를 고려하지 않고 건물 실내 서비스 또는 무선 백홀 링크에 대한 서비스만 고려중에 있다. 하지만 현재 구축되거나 예정인 계획이 없으므로 본 연구과제의 분석은 다소 한계가 있다.

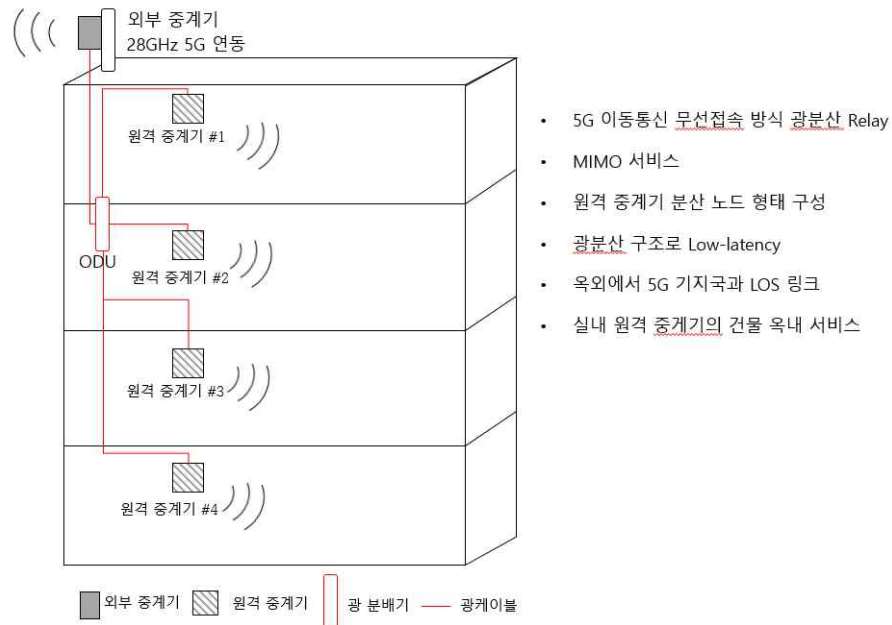
밀리미터파 대역 5G 기지국의 서비스는 Indoor, Outdoor-to-Indoor, Outdoor 서비스로 크게 나눌 수 있으며, 5G 서비스 초기의 경우 대부분 Indoor 서비스에 집중할 것이고, 대내 초고속 무선 인터넷 환경 조성을 위한 Outdoor-to-Indoor 서비스 역시 활성화 될 것으로 예상된다. <그림 5-8>은 전신주 또는 통신주에 설치된 Outdoor-to-Indoor 밀리미터 5G 기지국(평창)의 예를 보여주고 있다.



<그림 5-8> Outdoor-to-Indoor 밀리미터 5G 기지국 사례

<그림 5-9>는 도심지 밀리미터 5G 서비스의 전형적인 모델로서 건물 옥상에서 무선 백본 링크를 지원하고 각층에 대한 무선 데이터 서비스를 제공하게 되는 시스템의 예이다. 이 경우 옥상 백본 링크를 위한

기지국 측정과 각 층에 서비스를 연동하는 5G 중계기에 대한 무선국 검사를 고려해야 한다. <그림 5-9>의 소출력 28GHz 5G 무선 중계기는 각 층마다 또는 원하는 서비스 구역에 대한 고속 무선 서비스를 제공할 때 설치하는 경우에 해당한다.

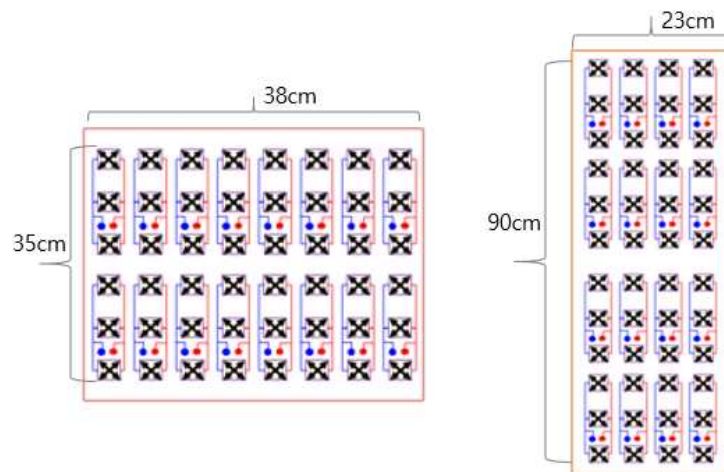


<그림 5-9> 밀리미터 5G Indoor 서비스 중계기 설치 사례

5.2.2 5G NR 기지국 OTA 측정영역 분석

OTA 측정에서 측정 거리에 따른 손실 뿐만 아니라 근거리장에서의 측정은 정확한 방사전력을 측정하기 어렵다. 신호의 위상과 크기가 서로 수직이 되지 않는 불규칙 가변구간으로서 실제 신호 방사전력의 크기가 낮다. 따라서 평면파가 생성되는 원거리장에서의 측정이 요구된다. 그러나 실제 환경에서 안테나의 개구면의 크기에 따라 원거리장이 생성되는 거리가 달라지며, 기지국의 설치 환경에 따라 측정 가능 영역과 불가능 영역이 존재할 수 있기 때문에 근거리장 영역에서의 측정도 고려하여 어느 정도 편차 또는 오차가 발생하는지에 대한 분석이 필요하다.

5G 기지국을 구성하는 평면구조의 배열안테나의 경우 전체 안테나의 개구면이 커지기 때문에 실제 국내에서 설치 운영하고 있는 3.5GHz 대역의 5G NR 기지국의 크기에 따라 원거리장 영역은 대략 20m 이상이 될 수도 있다. <그림 5-10>은 국내에 설치 운영되는 대표적인 3.5GHz 기지국 두 가지에 대한 안테나 개구면 크기이며, (a)의 경우 대각선의 길이가 약 50cm가 되며, (b)의 경우 약 93cm가 된다. 이에 대한 원거리장 영역 거리는 각각 5.83m와 20.18m가 된다. 이 경우는 하나의 빔을 만들기 위해 모든 안테나 소자가 다 사용된다는 조건이다.



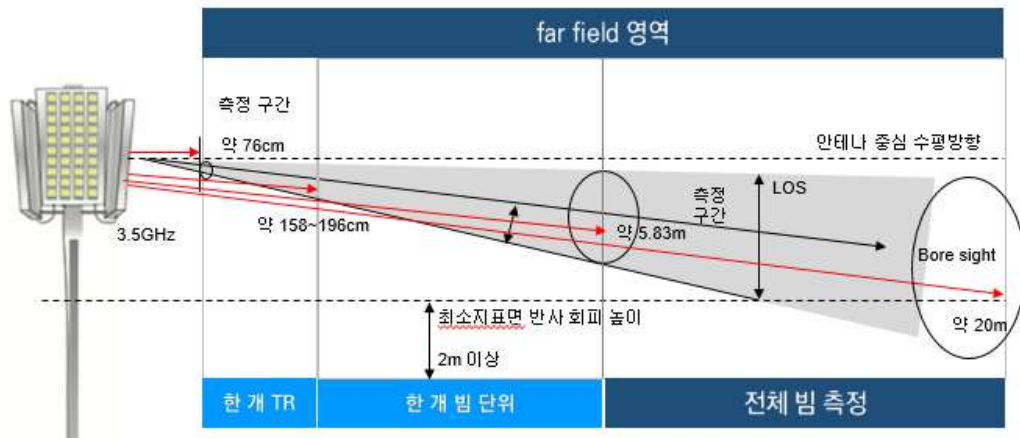
<그림 5-10> 3.5GHz 안테나 크기 예시

OTA 측정에서 환경적인 요인으로 <표 5-2>에서의 원거리장 영역 거리에서의 측정이 어렵다면 하나의 빔 형성 단위를 만드는 4개의 TR 크기에 대한 안테나 개구면 크기를 적용하여 측정할 수 있다. 이 경우 안테나 크기는 <그림 5-10>에서 추정하여보면 대략 가로 19cm, 세로 17cm가 되며, 이에 대한 대각선 크기 각각 26cm와 29cm임을 알 수 있다. 따라서 원거리장 영역 거리는 각각 1.58m 와 1.96m가 된다. 이러한 방식으로 안테나 근거리 영역에서 측정할 수 있는 환경을 확보할 수 있어 좀 더 효율적인 측정환경을 조성 할 수 있다. 극단적인 측정환경에서의 OTA 측정을 위한 방법을 고려한다면 하나의 TR에서 최대 방사되는 신호를 측정하는 것이다. 3 Sub-array 안테나 구조의 경우 가로 4.3cm, 세로 17.5cm 크기로 고려한다면, 안테나 개구면 크기는 약 18cm가 된다. 이에 대한 원거리장 영역 거리는 약 76cm가 된다. 이 경우 좀 더 측정 환경에 대한 제약을 벗어나 측정할 수 있다.

<표 5-2> 3.5GHz 대역 최대 원거리장 측정 구간

| D (m) | Freq. (GHz) | Wave length | Reactive near filed (m) | Radiating near field (m) | Far filed (m) | Path Loss(dB) |
|-------|-------------|-------------|-------------------------|--------------------------|---------------|---------------|
| 0.50 | 3.5 | 0.0857 | 0.75 | 5.83 | ≥5.83 | 76.72 |
| 0.93 | 3.5 | 0.0857 | 1.90 | 20.18 | ≥20.18 | 87.50 |

현장 측정에서의 반복성, 신뢰성, 유효성을 위한 조건은 근거리 측정에서 가능하며, 근거리 측정에서 원거리장 영역 조건을 만족하기 위해서는 하나의 TR 최대 방사 조건에서의 측정환경이 적합할 것으로 판단된다. <그림 5-11>에서와 같이 지면 반사 효과를 최대한 줄이기 위해 2m 이상의 지면 높이에서 측정을 수행하고 근거리에서 적합한 측정 도구로 측정을 수행한다. 측정 유효 범위는 측정 거리에 따라 크기가 달라지며, 빔 폭 $\pm 1\text{dB}$ 이내 영역에서 측정을 수행하는 것이 기타 측정의 불확정도를 고려하여 최적의 결과를 도출하는 조건이 된다.



<그림 5-11> 3.5GHz 기지국 OTA 측정영역 구분

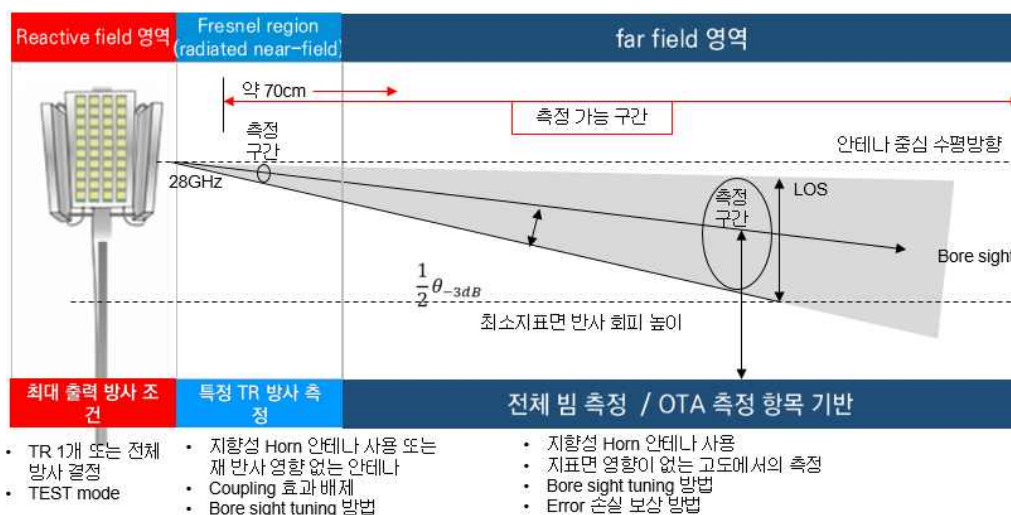
다음으로 밀리미터파 5G 기지국 검사의 측정영역을 분석한다. 밀리미터파 5G 기지국 검사의 경우 측정환경의 많은 부분은 실내로 추정되며, 이때의 경우 원거리장 영역과 근거리 측정 조건에서 측정을 수행한다. 다양한 밀리미터 주파수 대역의 5G 기지국이 있을 수 있지만 본 연구에서는 빔포밍 기지국에 대한 측정방법을 분석해 보았다. 안테나의 개구부면은 기지국의 송수신 모듈 개수에 따라 달라지며, 송수신 모듈 한 개에 대한 안테나 개구부면 크기와 전체 크기 등을 모두 고려하여 <표 5-3>에 근거리장과 원거리장 영역의 거리를 계산하였다.

<표 5-3> 밀리미터파 5G 원거리장 영역 계산

| D (m) | Freq. (GHz) | Wave length | Reactive nearfield(m) | Radiating nearfield(m) | Far filed (m) | Path Loss (dB) |
|----------|----------------|----------------|--------------------------|---------------------------|-------------------|----------------------|
| 0.01 | 28 | 0.0107 | 0.01 | 0.02 | ³ 0.02 | 26.82 |
| 0.04 | 28 | 0.0107 | 0.05 | 0.30 | ³ 0.30 | 50.90 |
| 0.08 | 28 | 0.0107 | 0.14 | 1.19 | ³ 1.19 | 62.94 |
| 0.13 | 28 | 0.0107 | 0.28 | 3.15 | ³ 3.15 | 71.38 |
| 0.16 | 28 | 0.0107 | 0.38 | 4.78 | ³ 4.78 | 74.99 |
| 0.20 | 28 | 0.0107 | 0.54 | 7.47 | ³ 7.47 | 78.86 |

<표 5-3>에서와 같이 밀리미터파 5G의 측정거리는 0.02m에서 7.47m까지 다양하게 도출되었다. 그러나 물리적 커플링 효과를 배제하기 위해서는 송신 안테나로부터 최소 30cm 이상 이격시켜야 하므로 최소 거리는 30cm가 되고, 밀리미터파 신호의 감쇄 특성 및 측정 장비의 광대역 Noise floor 상승으로 4m 이내에서 측정하여야 ACLR 및 Spurious 측정을 할 수 있다. 따라서 0.3m에서 4m가 안테나 개구면에 따라 또는 상관 없이 측정할 수 있는 영역이 된다.

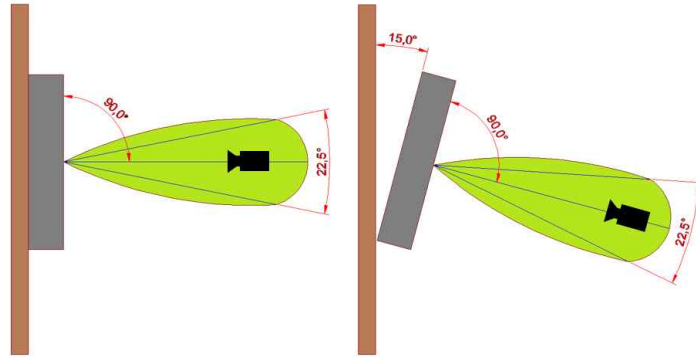
대부분의 밀리미터 5G 기지국 OTA 측정은 근거리 영역에서 수행하여야 측정의 유효성과 신뢰성을 확보할 수 있다. 현장 측정에서 기지국 설치 환경이 밀리미터 5G 의 경우 실내, 건물 옥지에서 무선링크, 그리고 가로등 및 전봇대 등에서 Out door to Indoor 서비스를 위한 설치 등으로 구분할 수 있다. 하지만 주파수 특성상 측정의 범위는 약 70cm에서부터 4미터 이내의 영역에서 측정한다.



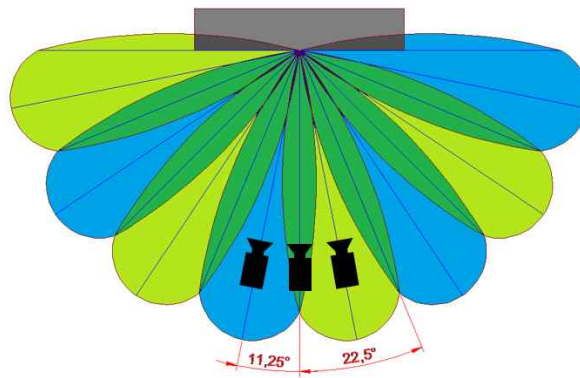
<그림 5-12> 28GHz 기지국 OTA 측정영역 구분

5.2.3 5G NR 기지국 OTA 측정영역 분석

최대방사전력 측정을 위한 EIRP 측정은 안테나의 중심부(Bore Sight)를 맞추어 측정하여야 한다. 따라서 안테나 설치 조향각 또는 틸트각에 맞추어 측정 안테나도 중심 조정을 해야 한다. 이때 빔의 방사 형태로 보아 중심부가 안테나의 중앙이 될 수 있지만, 짝수개의 빔 배열이면 안테나 중심부가 아닌 좌우 일정 거리가 될 수 있다.



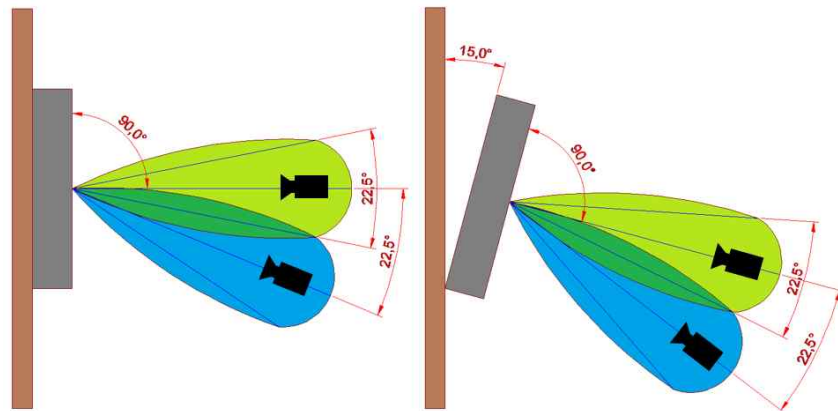
<그림 5-13> 빔포밍 안테나 수직방향 정렬 측정



<그림 5-14> 빔포밍 안테나 수평방향 정렬 측정

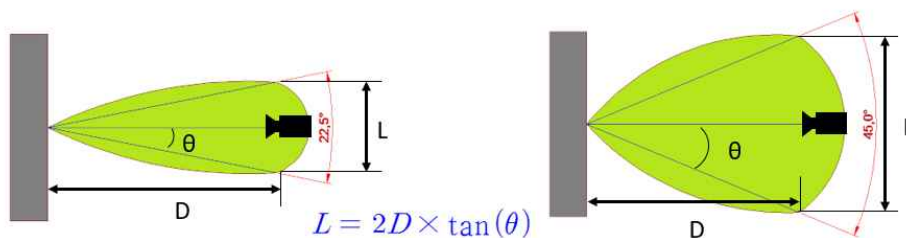
현재 구현되어 설치되는 기지국의 빔포밍은 3GPP 표준에 따라 단말

연결을 위한 동기신호를 브로드캐스팅하는 빔 스위핑과 데이터를 송신하는 트래픽 빔으로 구성된다. 준공검사 및 변경 검사 시 테스트 모드 신호를 측정할 수 있어서 빔에 대한 측정이 트래픽 빔에 대한 측정이 된다. 정기검사 시에는 서비스 상태에서 검사를 시행하는 방법으로 기준 신호인 동기신호 방사에 대한 측정을 이용하여 수행할 수 있다.



<그림 5-15> 수직 2배열 수평 4배열 빔 수직방향 정렬

빔의 수직 배열은 1, 2, 4 등 여러 배열을 구성 할 수 있지만, 현재 국내에서 3.5GHz 대역 기지국 빔 배열은 수직 1, 2 배열이 고려된다. <그림 5-15> 에서처럼 수직 2 배열의 경우 수직 빔 센터에 맞추는 과정이 중요하다. 따라서 안테나 마스트를 사용하거나 근거리에서는 별도의 측정 보조 도구를 사용하여 Alignment를 한다. 현장에서 정확한 중앙을 맞추는 것이 현실적으로 어려우므로 측정 거리에 따른 빔에 대한 3dB 좌우를 알고 그에 대한 보정값을 고려한다.

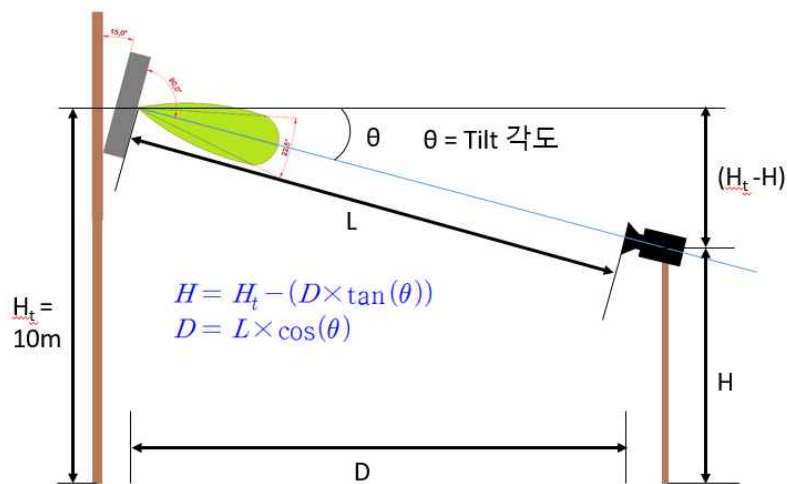


<그림 5-16> 빔폭에 따른 거리 및 HPW(Half Power Width) 길이

<표 5-4> 빔폭에 따른 거리 및 HPW 길이

| D(m) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 50 | 100 |
|----------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| L (m) | 5.875 ° | 0.10 | 0.21 | 0.31 | 0.41 | 0.51 | 0.62 | 0.72 | 0.82 | 0.92 | 1.03 | 5.13 | 10.26 |
| | 11.75 ° | 0.21 | 0.41 | 0.62 | 0.82 | 1.03 | 1.23 | 1.44 | 1.65 | 1.85 | 2.06 | 10.29 | 20.58 |
| | 22.50 ° | 0.40 | 0.80 | 1.19 | 1.59 | 1.99 | 2.39 | 2.78 | 3.18 | 3.58 | 3.98 | 19.89 | 39.78 |
| | 45.00 ° | 0.83 | 1.66 | 2.49 | 3.31 | 4.14 | 4.97 | 5.80 | 6.63 | 7.46 | 8.28 | 41.42 | 82.84 |

화웨이 및 노키아 32TR 기지국의 경우 원거리장 영역 거리가 약 5~6m부터 시작되며 이에 대한 수평 측정 오차 1 dB를 고려한다면, 약 1~1.5m 좌우 오차가 있어도 정확성을 유지할 수 있다.



<그림 5-17> 빔 정렬 거리별 측정 높이 계산

현장에서 측정높이를 계산하고 측정위치에 안테나를 정렬시키려면 다음과 같은 수식을 이용한다.

$$H = H_t - (D \times \tan(\theta))$$

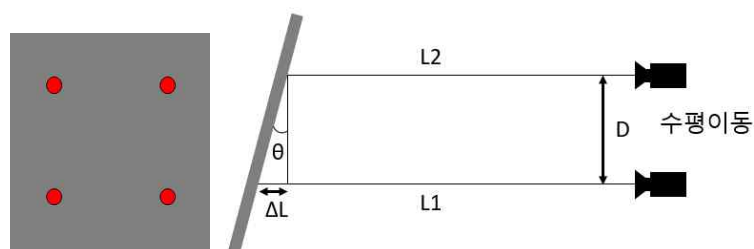
$$D = L \times \cos(\theta)$$

여기서 기지국 안테나 설치 높이(Ht)와 Tilt 각도와 거리 L을 알면 측정 위치 거리 D를 계산하여 측정 위치에서 높이 H를 정할 수 있다.

<표 5-5> 빔정렬 거리별 측정높이 계산

| D(m) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 20 | 30 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| H(m) | 9.73 | 9.46 | 9.20 | 8.93 | 8.66 | 8.39 | 8.12 | 7.86 | 7.59 | 7.32 | 4.64 | 1.96 |
| L(m) | 1.04 | 2.07 | 3.11 | 4.14 | 5.18 | 6.21 | 7.25 | 8.28 | 9.32 | 10.35 | 20.71 | 31.06 |

기지국 설치 높이가 10m이고 틸트각이 15도인 경우 약 20m 떨어진 지점에서 측정 안테나 높이는 4.64m가 된다. 근접하는 5~6m의 경우 8m 이상의 높이가 필요하다. 따라서 측정 할 수 있는 높이의 마스트를 사용하려면 측정 거리를 늘리거나 부족한 각 측정에서 보정하는 방법을 사용한다.

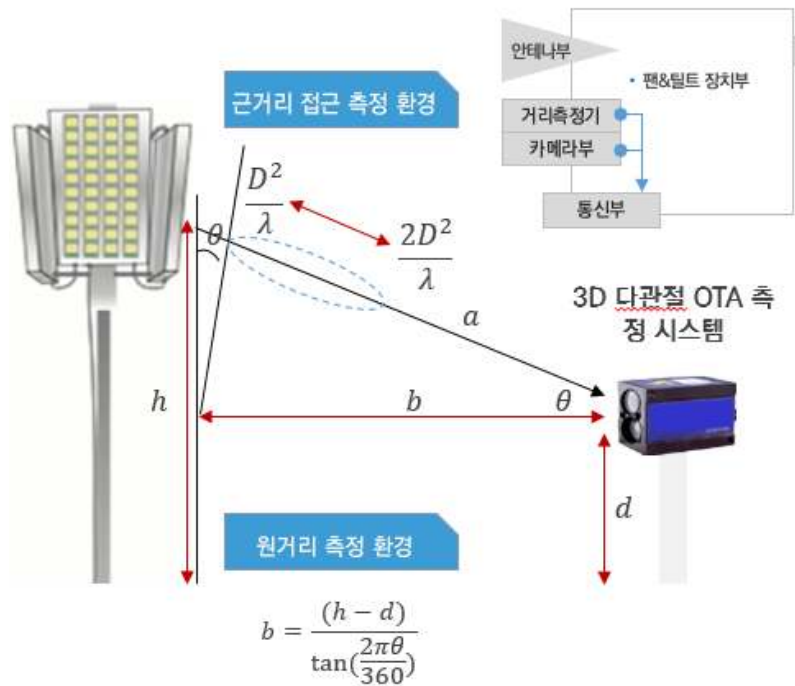


$$\Delta = L1 - L2$$

$$\theta = \text{Arctan}\left(\frac{\Delta}{D}\right)$$

<그림 5-18> 거리측정을 이용한 지향각도 측정

4개 지점의 거리를 측정하고 PAN & Tilt 각도를 바로잡아 기지국 안테나와 측정기 안테나를 평행하게 마주 보도록 조정하여 측정한다. 기울기 측정은 위, 아래 두 지점으로 구할 수 있으며, 좀 더 정확한 확인 측정을 원한다면, 네 지점을 측정한다.



<그림 5-19> OTA 측정거리 및 기울기 측정 개념

측정 높이가 한계가 존재하고 측정 거리를 계산하려면, 기지국의 높이와 기울기를 통해 측정 거리 b를 계산 할 수 있다.

앞에서 설명한 모든 설치 환경 중에 안테나 마스트를 설치하고 근거리에서 측정할 경우 다관절 로봇 팔을 응용한 측정 도구가 필요하다. 측정 장치는 크게 안테나와 거리 및 중앙을 측정하기 위한 레이저 거리측정기 및 광학 카메라 그리고 다관절 장치와 제어 시스템으로 구성된다. 기본적인 구성은 팬, 틸트 제어 또는 X-Y 평면 스캐닝 기술등이 구현 접목되어야 한다. 우선 현장 측정을 위한 장치는 공간상의 위치 조절을 위한 기본적인 구조로 형상이 소형이며 경량이어야 한다. <그림 5-20>에 5G

기지국 OTA 측정도구의 구조 사례를 보여주고 있다.



<그림 5-20> 5G 기지국 OTA 측정 도구 구조

제6장 OTA 기반 5G 기지국 현장측정 연구

제6장 OTA 기반 5G 기지국 현장측정 연구

제1절 OTA 기반 무선국검사 측정방법 표준

5G NR 기지국 무선국검사를 위한 OTA 측정은 절대적인 기준을 평가하는 것이며, 공간상에서의 측정의 불확정도를 최소화하고 이에 대한 측정의 정확성과 신뢰성을 확보하기 위해 가능한 측정항목의 범위와 그에 대한 최소한의 측정환경 조건 하에 측정절차를 제시하여야 한다. 또한, 본 제안은 Sub 6G (FR1)의 근거리 측정으로 고려하였다. 원거리 측정의 경우 여러 가지 고려사항과 환경적인 요소 등 향후 5G 기지국의 다양한 설치 환경에서의 연구 등이 추가로 이루어진 후 제안이 필요하다.

< 5G 기지국 OTA 측정 조건 >

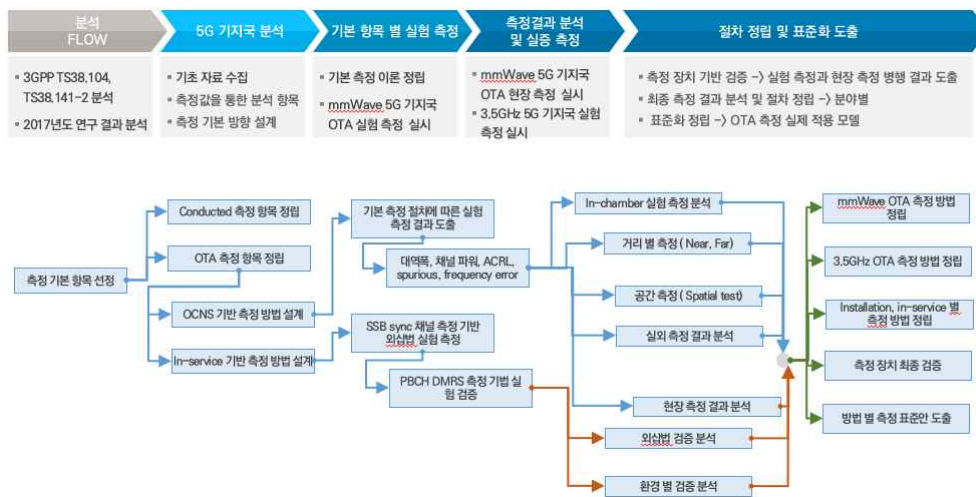
- 최대 방사 출력 또는 테스트 모드 상태에서의 측정 조건
- 충분한 SNR을 확보할 수 있는 거리에서 측정
- LOS 및 Boresight 확보 조건에서의 측정
- 주변의 반사 환경이 없는 상태에서의 측정

< 5G 기지국 OTA 측정 항목 >

- 최대 복사전력
- 점유대역폭
- 주파수 에러
- 인접채널 누설전력 비 (제한된 환경조건)
- 스푸리어스 (환경 조사 측면에서만 가능)

6.1.1 무선국검사 표준도출 프로세스

5G 기지국 OTA 측정 표준화 결과 도출을 위해 3GPP 표준, 실험실 및 현장측정 등을 통한 결과를 기반으로 무선국검사 표준을 정립하였다. 크게 다섯 단계의 분류에 따라 세부적인 절차 이행을 하여 측정 결과에 대한 신뢰성을 확보하였다.

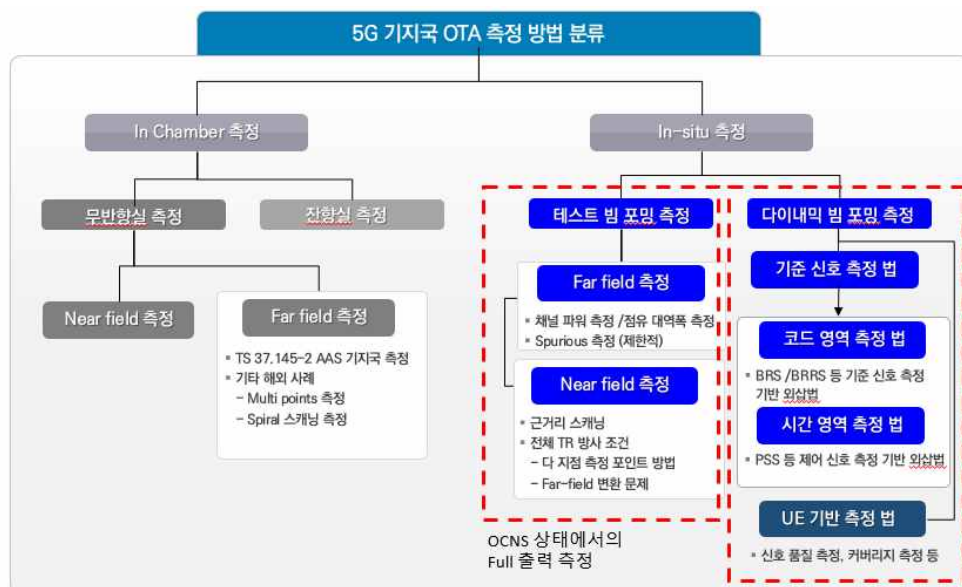


<그림 6-1> 무선국검사 표준화도출 프로세스 정립

첫 번째 분석 단계에서는 3GPP TS38.104와 TS38.141-2에 관한 내용을 기반으로 OTA 측정의 정의와 개념을 정립하였고, 그에 따라 우선 현행 측정항목에 대한 3GPP 권고 규격과 RRA 기술기준을 비교하여 수행하였다. 두 번째 단계로 국내에 설치될 기지국의 종류에 따라 크게 직결측정 방법(Conducted measurement), 최대 복사 신호 측정방법(OTA measurement with OCNS), 서비스 상태에서의 기준 신호 측정 기반 최대 복사 신호 예측 방법 (In-service measurement with SS signal) 등으로 구분하여 조사 분석하였다. 세 번째 단계로 각 측정방법 접근에 따른 기본 이론 정립과 측정 조건 등을 분석하였고, mmWave

5G 와 Below 6GHz 각각에 대한 측정방법 정립과 OCNS 기반 최대 전력 방사 상태에서의 직접 측정 방법 (직접 측정과 OTA 측정)과 기준신호 측정을 이용한 외삽법 (Extrapolation) 등의 세부적인 절차를 정립하였다. 네 번째 단계로 모든 정립된 방법에 대한 무반사실에서의 기본 이론 확립과 근거리 원거리 상태에서의 측정 조건과 신뢰성 검증 실험을 하고, 거리별, 공간별 측정 등의 정확성과 불확실도를 계산 도출하여, 실외 실험 측정에서의 신뢰성과 정확성을 높이는 방법으로 수행하였다. 마지막 단계로 앞 단계에서 환경별 실제 기지국 측정 등의 검증 등을 거친 후 현장 측정에서의 정확도 산출과 불확실도 산출 등을 거쳐 최종 5G기 지국 측정 방법에 대한 표준화 프로세스 제안을 도출한다.

OTA 측정은 크게 기지국 성능 및 인증 단계에서의 무반사실 등을 이용한 실내 측정과 기지국 설치 성능 및 검증을 위한 설치 현장 측정으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 기지국 설치 현장에서의 측정의 정확성과 신뢰성 검증에 대한 것으로 무반사실 측정의 경우는 제외하고 현장 측정 방법적인 분류 내용에 대해서 조사 분석 한다.

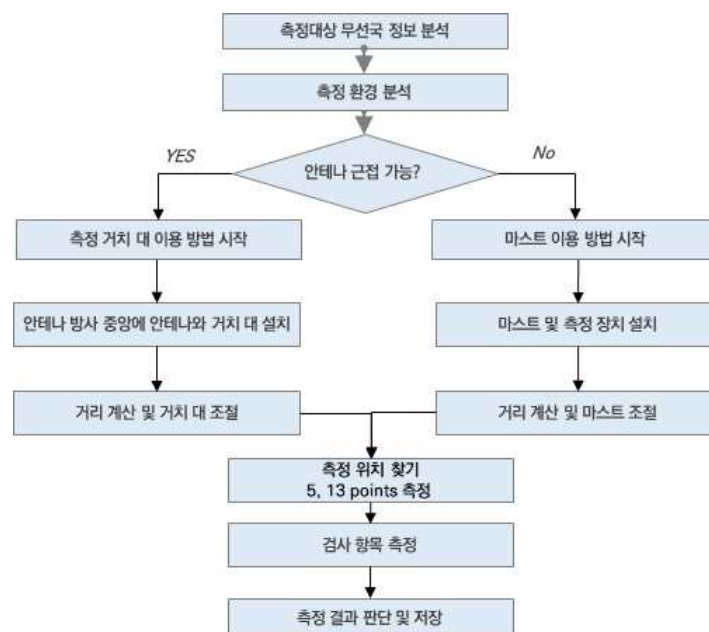


<그림 6-2> 5G 기지국 OTA 측정 방법 분류

6.1.2 무선국검사 표준 측정절차 및 방법(안)

현장에서의 5G 기지국 검사는 다음과 같은 접근 프로세스를 고려한다. 다양한 기지국 설치환경과 기지국의 종류 등이 존재하므로 이에 대한 현장 측정 시의 준비와 이해가 수반되어야 한다.

- 5G NR 기지국의 FR1, FR2 여부
- 5G NR 무선국 정보 (중심주파수, SSB 중심주파수, 최대 빔 갯수, Total conducted power, 하나의 송신 모듈 conducted power, 안테나 이득, 안테나 Sub array 종류, 빔 배열 정보, 3dB 수평빔 각도, 수직빔 각도, 하나의 TR 수평 및 수직 빔 각도, SS Burst 주기 등)
- 안테나 설치 위치 및 환경 (안테나 높이, 주변 지향 방향, Tilt, 근접 가능 여부)
- TR 스위칭 제어 가능 여부 (Switching interval 자동 가능 여부)



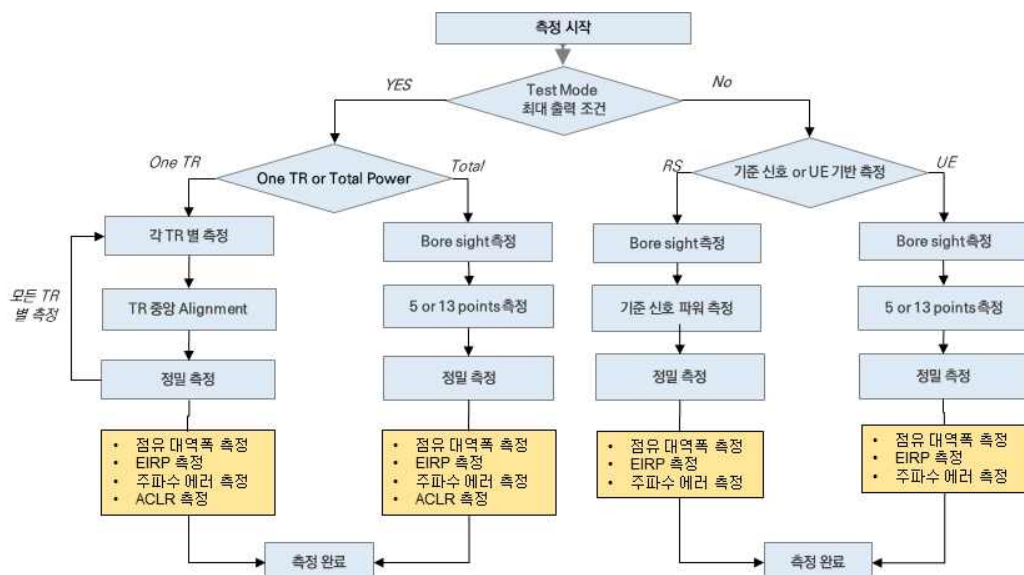
<그림 6-3> 5G NR 기지국 OTA 검사 전체 절차

현장에서의 5G NR 기지국 측정은 기지국의 설치 형태에 따라 그 측정 방법이 달라진다. 근접해서 측정할 수 있다면 측정 거치대를 제작하여 항상 일정 거리에서 측정할 수 있도록 측정 안테나 거치대 기구를 만들어 측정환경을 제공하며, 하나의 TR에 대한 최대 출력 조건으로 검사 항목을 측정한다. 근접 측정이 안 되면 최소 원거리 장 영역에서 안테나 마스트를 설치하여 LOS 및 Bore sight를 최대한 맞추어 측정한다.

5G NR 기지국에 대한 OTA 측정은 다음과 같은 사항들이 고려된다.

- 측정 Positioning & Alignment
- Measurement point 찾기
- 검사 측정
 - : 점유대역폭 측정
 - : EIRP 측정
 - : 주파수 에러 측정
 - : 인접 채널 누설전력 비 측정

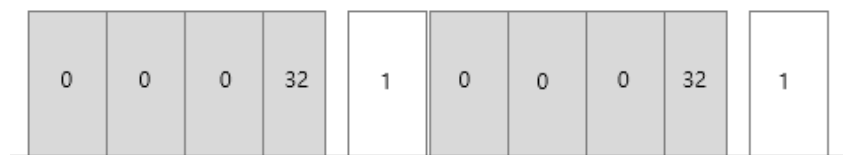
기지국의 최대전력 방사 또는 한 개 TR의 최대 출력 방사의 조건이 가능할 때와 아닌 경우 다음과 같은 측정 세부 절차가 이루어진다.



<그림 6-4> 5G NR 기지국 OTA 측정 상세 절차

Test Mode

국내 5G NR FR1의 기지국 테스트모드 신호는 <그림 6-5>와 같이 정의될 수 있다. 5개의 슬롯 묶음으로 슬롯 포맷 0, 0, 0, 32, 1(all Down, all Down, all Down, 10 Down 3 Don't care, 2 Up 그리고 all UP)로 구성된다. 국내의 경우 <그림 6-5>와 같이 설정되며, 나라 및 상황에 따라 슬롯 포맷 구성은 달라질 수 있으므로 측정 전 사전파악이 중요하다.



<그림 6-5> PDSCH 테스트 모드

스펙트럼 영역에서의 채널파워 측정은 일반 Swept-tuned 방식에서의 속도로는 정확한 측정을 할 수 없으며, 일반적으로 누적 측정을 하게 되는데 이때 필요한 것이 측정된 파워에서 시간적인 평균(Averging) 취할 경우 power off 되는 구간들을 빼주어야 한다. 이러한 것을 파워 보정 또는 보상이라 한다.

Bore Sight Alignment

안테나에서 방사되는 신호의 가장 높은 중앙지점에 측정 안테나를 정렬시키는 과정으로 EIRP 측정을 하여 TRP를 구하는 과정에서 초기 단계이다. EIRP는 라디오 (P_t)에서 전송된 전력, 케이블 손실 (안테나 불일치를 포함할 수도 있음) L 및 안테나 이득 (G)과 관련될 수 있다.

$$EIRP = P_t - L + G$$

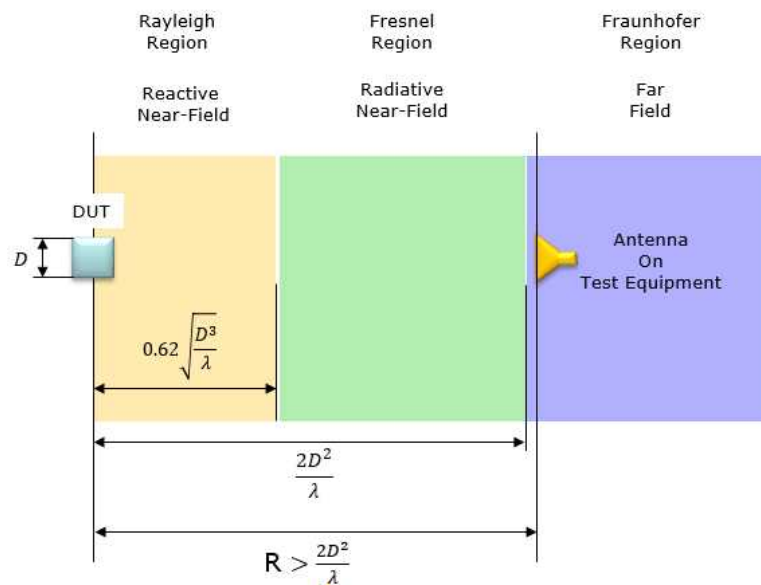
일반적으로 케이블 손실 L 은 무시할 수 있다.

피크 EIRP와 지향성 (D)이 안테나에 대해 알려진 경우 총 방사 전력 (TRP)은 다음 방정식에서 찾을 수 있다.

$$TRP = EIRP - D$$

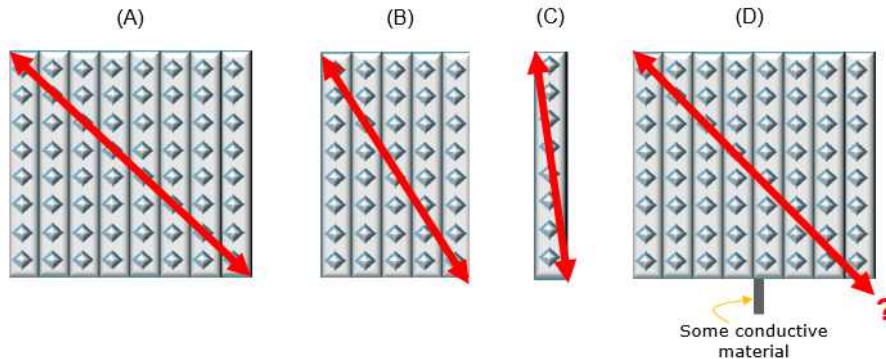
이러한 방식으로, 안테나의 지향성 및 피크 각도가 미리 알려지면, 위 식을 사용함으로써 측정 시간이 크게 감소 될 수 있다.

측정에 대한 Bore sight를 맞추는 것과 동시에 거리 측면에서 원거리장 영역에서 측정함을 원칙으로 한다.



<그림 6-6> Antenna Field region

Below 6GHz에서의 측정 거리는 반드시 원거리장 영역 이상에서 측정해야 한다. 이는 신호의 크기와 위상이 수직이 되는 평면과 구간이며, 신호의 EIRP 측정 시 왜곡이 없이 정확한 결과를 얻을 수 있다.

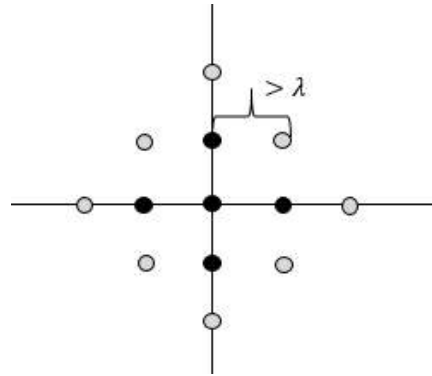


<그림 6-7> 다양한 구성의 안테나 개구면 크기 정의

정확한 측정을 위해서는 정확한 안테나 치수를 알아야 한다는 것을 의미한다. 그러나 안테나 치수를 올바르게 정의하는 것이 항상 쉬운 것은 아니다. 안테나 치수 D는 전체 안테나 모듈의 최대 거리로 정의된다. <그림 6-7>의 빨간색 화살표는 D를 나타낸다. 보시다시피, (A), (B), (C)의 경우 D를 정의하기가 쉽다. 그러나 (D)의 경우 차원을 정의하기가 그렇게 쉽지는 않다. (D)에서 물리적 치수는 (A)와 같지만, 안테나 모듈 주변의 일부 전도성 물질이 안테나 모듈의 방사 패턴에 영향을 주는 것을 볼 수 있다. 이는 안테나의 유효 치수에 영향을 줄 수 있으며 유효 치수를 정확하게 추정하는 것은 매우 어려울 수 있다.

측정 지점 및 위치를 알기 위해서 알려진 D 상황 및 알 수 없는 D 상황 처리 (화이트 박스 대 블랙박스 접근법)을 사용할 수 있다. BLACK 박스 접근법의 경우 정확한 안테나 위치/방사 중심 참조 지점 (CORRP: Center-Of-Radiation-Reference-Point)을 알 필요가 없다. 이러한 경우가 5G NR 기지국 OTA 측정환경에 적용되는 상황일 것이다. 이 경우는 측정 현장에서 기지국 제조사의 테스트 모드가 적용되므로 안테나 중심으로 방사 또는 하나의 TR을 방사하는 제어 등이 가능하다.

- 5 또는 13points 측정을 통해 최대 지점을 찾거나 측정값의 Spatial Averaging을 고려한다.



- 레이저 거리측정기로 정확한 거리 측정을 통한 EIRP 값을 도출한다.
- QZ (Quiet Zone)의 중앙에서 정밀 측정을 수행하며, 반복적인 측정으로 측정의 신뢰성을 제고한다.

화이트 박스 방식의 경우 정확한 안테나 위치 / 방사선 중심 기준점 (CORRP)을 제조업체 선언을 통해 알 필요가 있다.

- 능동 안테나 어레이에 대한 CORRP는 테스트 케이스의 복잡한 실행을 유발할 수 있는 QZ (Quiet Zone) 지역의 중심과 정렬되어야 한다
- 주어진 정보를 확인하고, 무반사실에서의 측정값과 현장에서의 측정값과 비교 분석 보정 한다.
- 측정의 총 Uncertainty를 도출한다.

제2절 5G 기지국 현장측정 사례

앞 절에서 정의된 표준화된 측정 방법의 신뢰성을 검증하기 위해 본 장에서는 28GHz와 3.5GHz 5G 기지국에 대한 측정결과 사례를 보여준다.

6.2.1 28GHz OCNS 환경 기반 실내 측정 사례

기지국을 Test mode를 통해 최대 방사 상태로 유지하는 경우를 OCNS 환경이라 한다. 실험은 실내 실험 환경에서 테스트용 밀리미터파 5G 기지국을 사용하여 측정 결과를 도출하였으며, 이에 대한 방사 전력 측정의 정확성을 검증하기 위해 신호 발생기로 치환 측정하여 결과 보정을 하였다. 기지국의 중심 주파수는 27.9288GHz이며, 대역폭은 100MHz로 설정하였고, 기준 신호 발생기로 치환 검증한 결과 최대 출력은 EIRP 43 dBm 이다. 기지국은 2X2 MIMO 지원을 하며, OCNS 조건의 노이즈성 Payload를 살은 상태이다. 다른 측정 장비 환경조건은 <표 6-1>과 같다.

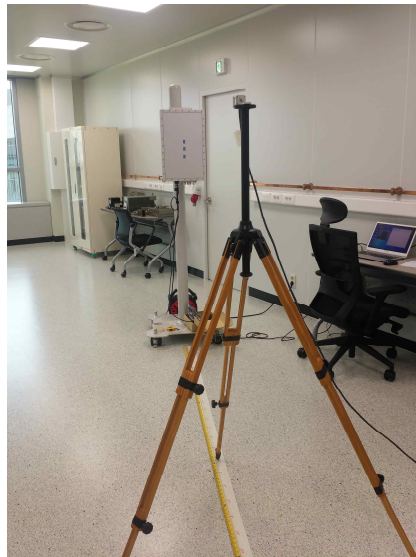
<표 6-1> 기지국 Test mode OTA 측정 장비

| 구분 | 제조사 및 모델 | 기타 |
|---------|----------------------|---|
| 기지국 안테나 | Nokia | 중심주파수 : 27.9288 GHz 대역폭 : 800 MHz EIRP : 43 dBm |
| 수신안테나 | RFspin / DRH 67 | 주파수 : 6 ~ 67.5 GHz 안테나 이득 : 14.3 dBi@28 GHz |
| 측정 수신기 | 미국 Keysight / N9020B | 5G NR 스펙트럼 분석기 |
| RF 케이블 | TOTOKU / TCF 219 | 수신 Cable Loss : 12.5 dB |

실내 환경이지만 28GHz 대역의 특성상 주변 신호 반사 영향은 무시할 정도로 미비하기 때문에 무시하고 진행 하였으며, 실제 측정하였을 경우

역시 측정기의 Noise Floor에 묻히기 때문에 신뢰성을 확보 할 수 있었다. 측정 장비 세팅은 <그림 6-8>에서 확인할 수 있으며 그 상세한 설정은 다음과 같다.

- 기지국 안테나의 수직 편파부만 방사
- 수신 안테나를 기지국 안테나와 직교하도록 위치하고 가장 높은 d 위치의 높이와 중심 위치에 맞춤
- 총 복사전력은 0.6m ~ 6m 까지 0.2m 간격으로 수신 안테나를 이동시켜 총 3회 반복 측정
- 그 외 무선국 검사 OTA 항목은 1m, 5m 거리에서 측정



<그림 6-8> 기지국 OTA 측정 환경

① EIRP 측정 기반 총 복사전력 측정

< 기술기준 >

총복사전력은 지정주파수 마다(점유주파수대역폭(MHz) \times 0.1/MHz)W 이하일 것
출력대비 상한 20%, 하한 기준 없음

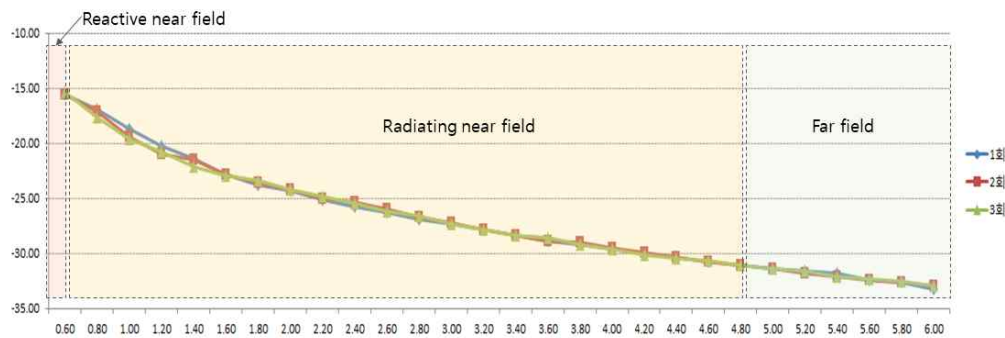
최근 고시 예고된 28GHz 대역의 5G 이동통신 무선국에 대한 총 복사전력 기술 기준의 경우 대역폭 100MHz, 200MHz, 400MHz, 800MHz 에 대해서 EIRP 기준으로 각각 40dBm, 43dBm, 46dBm, 49dBm 이된다. 본 실험에서의 5G 기지국 출력은 검증 결과 기준으로 총 46dBm이며, 수직 편파 방사와 수평편파 방사 각각 43dBm이 된다.

거리별 측정에 대한 EIRP 계산은 아래 수식을 이용하여 산출 하였으며 <표 6-10>과 같이 측정 및 계산 결과를 기록하였다.

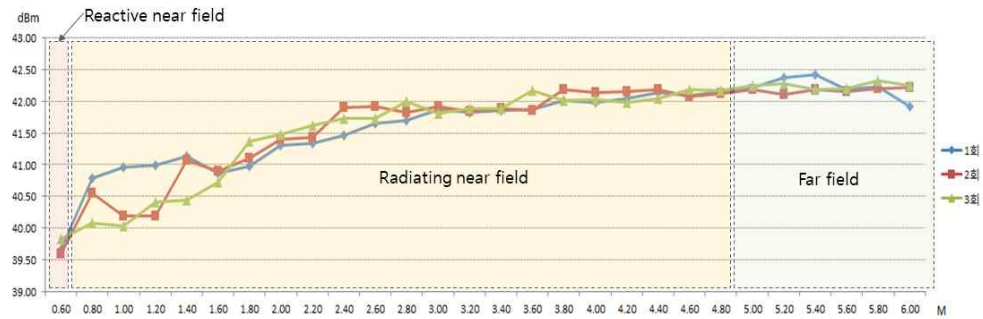
$$EIRP = P_r + L_r - G_r + 20\log_{10}\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) [dBm] \quad (6-1)$$

- Pr : 측정된 수신 Power (dBm)
- Lr : 수신 RF Cable Loss 12.5dB
- Gr : 수신 안테나 이득 14.3dBi@28GHz
- d : 기지국 안테나와 수신 안테나 거리(m)
- λ : 파장 0.011m

측정은 20cm 간격으로 시작지점 60cm에서 6m까지 측정하였고, 수직 편파 방사에 대해서 Bore sight를 최대한 맞추어 측정하였다.



<그림 6-9> 거리별 수신 Power



<그림 6-10> 거리별 계산된 EIRP

<표 6-2> 거리별 수신 Power 및 계산된 EIRP

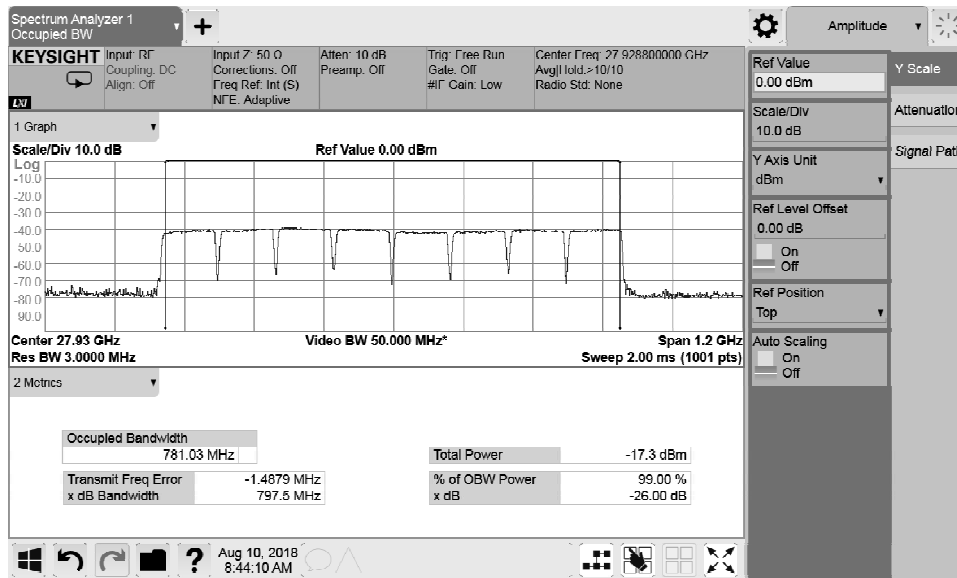
| 안테나 거리 (m) | 측정 값 (dBm) | | | EIRP (dBm) | | |
|---------------|------------|--------|--------|------------|-------|-------|
| | 1회 | 2회 | 3회 | 1회 | 2회 | 3회 |
| 0.60 | -15.47 | -15.54 | -15.30 | 39.66 | 39.59 | 39.83 |
| 0.80 | -16.84 | -17.07 | -17.54 | 40.78 | 40.55 | 40.08 |
| 1.00 | -18.60 | -19.38 | -19.53 | 40.96 | 40.18 | 40.03 |
| 1.20 | -20.15 | -20.96 | -20.73 | 41.00 | 40.19 | 40.42 |
| 1.40 | -21.35 | -21.41 | -22.04 | 41.14 | 41.08 | 40.45 |
| 1.60 | -22.78 | -22.75 | -22.92 | 40.87 | 40.90 | 40.73 |
| 1.80 | -23.70 | -23.56 | -23.30 | 40.97 | 41.11 | 41.37 |
| 2.00 | -24.27 | -24.19 | -24.11 | 41.31 | 41.39 | 41.47 |
| 2.20 | -25.08 | -24.98 | -24.79 | 41.33 | 41.43 | 41.62 |
| 2.40 | -25.71 | -25.26 | -25.44 | 41.46 | 41.91 | 41.73 |
| 2.60 | -26.21 | -25.94 | -26.13 | 41.65 | 41.92 | 41.73 |
| 2.80 | -26.81 | -26.68 | -26.50 | 41.70 | 41.83 | 42.01 |
| 3.00 | -27.23 | -27.19 | -27.29 | 41.88 | 41.92 | 41.82 |
| 3.20 | -27.84 | -27.82 | -27.78 | 41.83 | 41.85 | 41.89 |
| 3.40 | -28.33 | -28.31 | -28.30 | 41.86 | 41.88 | 41.89 |
| 3.60 | -28.81 | -28.84 | -28.51 | 41.88 | 41.85 | 42.18 |
| 3.80 | -29.14 | -28.97 | -29.14 | 42.02 | 42.19 | 42.02 |
| 4.00 | -29.62 | -29.47 | -29.58 | 41.98 | 42.13 | 42.02 |
| 4.20 | -29.98 | -29.88 | -30.04 | 42.05 | 42.15 | 41.99 |
| 4.40 | -30.29 | -30.25 | -30.39 | 42.14 | 42.18 | 42.04 |
| 4.60 | -30.73 | -30.74 | -30.63 | 42.09 | 42.08 | 42.19 |
| 4.80 | -31.03 | -31.07 | -31.02 | 42.16 | 42.12 | 42.17 |
| 5.00 | -31.33 | -31.35 | -31.30 | 42.21 | 42.19 | 42.24 |
| 5.20 | -31.51 | -31.78 | -31.60 | 42.37 | 42.10 | 42.28 |
| 5.40 | -31.78 | -32.03 | -32.03 | 42.43 | 42.18 | 42.18 |
| 5.60 | -32.34 | -32.37 | -32.32 | 42.19 | 42.16 | 42.21 |
| 5.80 | -32.60 | -32.63 | -32.50 | 42.23 | 42.20 | 42.33 |
| 6.00 | -33.21 | -32.90 | -32.87 | 41.92 | 42.23 | 42.26 |

② 점유대역폭

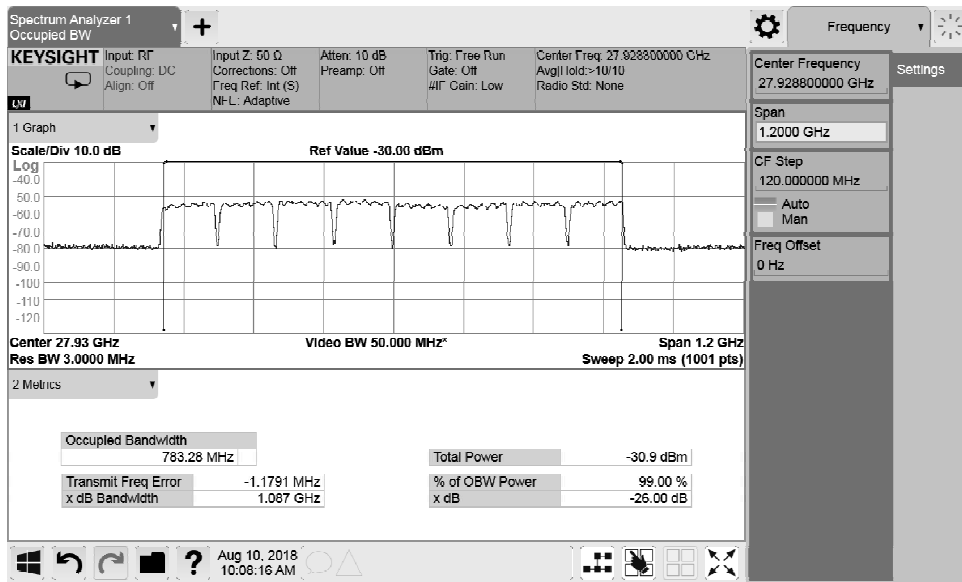
점유 대역폭 측정은 상대적으로 다른 측정 항목에 비해 직결해서 측정하는 것과 OTA 측정이 크게 다르지 않고 측정의 신뢰성을 확보 할 수 있다. 방사 전력이 99%되는 구간을 점유 대역폭으로 측정 하여 1m, 5m 구간에서 각각 781.03MHz, 783.28MHz를 측정 하였다. 할당 허가 대역 800MHz 이내에 들어오므로 적합함을 알 수 있다.

<표 5-4> 거리 별 점유 대역폭

| 측정 거리 | 결과 |
|-------|------------|
| 1m | 781.03 MHz |
| 5m | 783.28MHz |



<그림 6-11> 점유대역폭 (1m)



<그림 6-12> 점유대역폭 (5m)

③ 인접채널 누설전력 (Adjacent Channel Leakage Ratio)

< 기술기준 >

필요주파수대역폭(점유주파수대역폭의 90%) 내에 누설되는 전력이 기본 주파수의 평균전력보다 28 dB 이상 낮거나 아래 절대값 중 덜 엄격한 값일 것

◇ 총복사전력이 30 dBm 이상 (-13dBm/MHz 이하)

◇ 총복사전력이 30 dBm 이하 (-20dBm/MHz 이하)

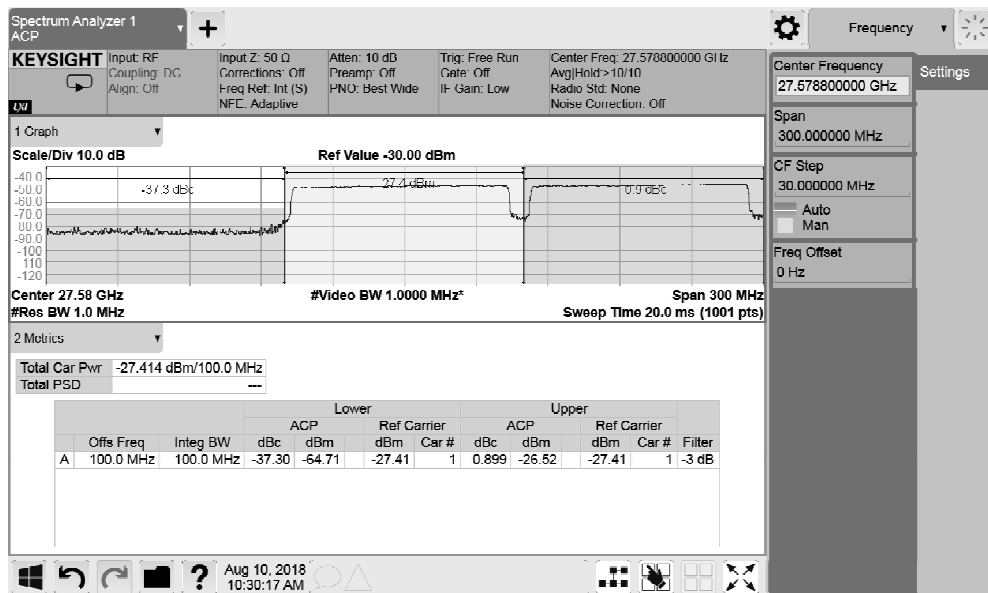
ACLR 측정 방법은 두 가지 방법으로 진행하였다. 첫 번째는 아래 100MHz 기준 대역의 아래 인접대역 측정과, 맨 위 100MHz 기준 대역의 위 인접대역 측정을 하였고, 두 번째로 800MHz 대역 전체에 대해 기준을 잡고 아래, 위 각각의 인접 채널을 측정 하였다.

공간상에서의 인접채널 누설 전력비를 측정할 때 문제점은 안테나를 통한 측정이므로 공간의 White noise 등의 상승으로 인해 noise floor가 상승하는 것을 고려하여야 하며, 측정 거리가 멀어질수록 기준 채널 파워가 줄어드는 것에 대비해 Noise floor는 그대로 유지가 되므로 상대적 값인 인접채널 누설전력 비가 낮아 질수 있다. 따라서 본 실험에서는

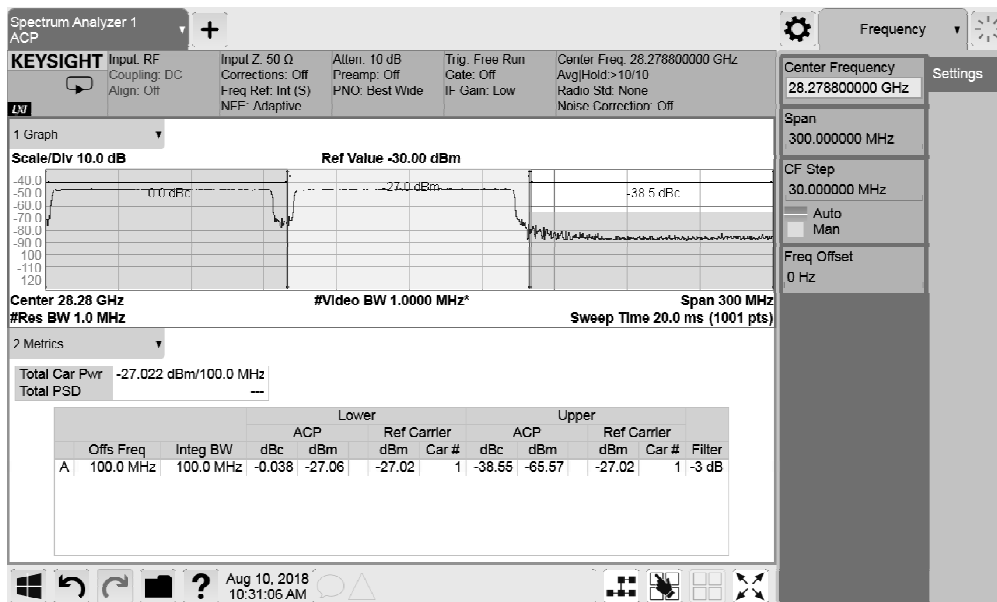
100MHz 와 800MHz 전체 대역을 각각 비교 측정 하였다. 1m 근거리 구간에서는 <표 6-4>와 같이 100MHz와 800MHz에 상관없이 기본 주파수와의 평균 전력과 비교의 조건에서는 측정의 동적 영역 범위를 충분히 보장받을 수 있어 기술기준에 충족함을 보여주지만 5m 측정 구간에서는 기술기준 충족이 어려워진다. 다만 절대 기준값 비교에서는 결과 자체로만 해석 판단한다면 충족하지만, 거리 손실분을 고려한다면 결과가 달라질 수 있다. 이때 전체 인접 대역에 대한 결 손실을 고려하면 오류가 발생하므로 실제 침투치 신호에 대해서만 손실 보상을 고려하는 것이 바람직하다. 이 부분은 해석에 대한 협의가 필요하다.

<표 6-4> 인접채널 누설 전력 비

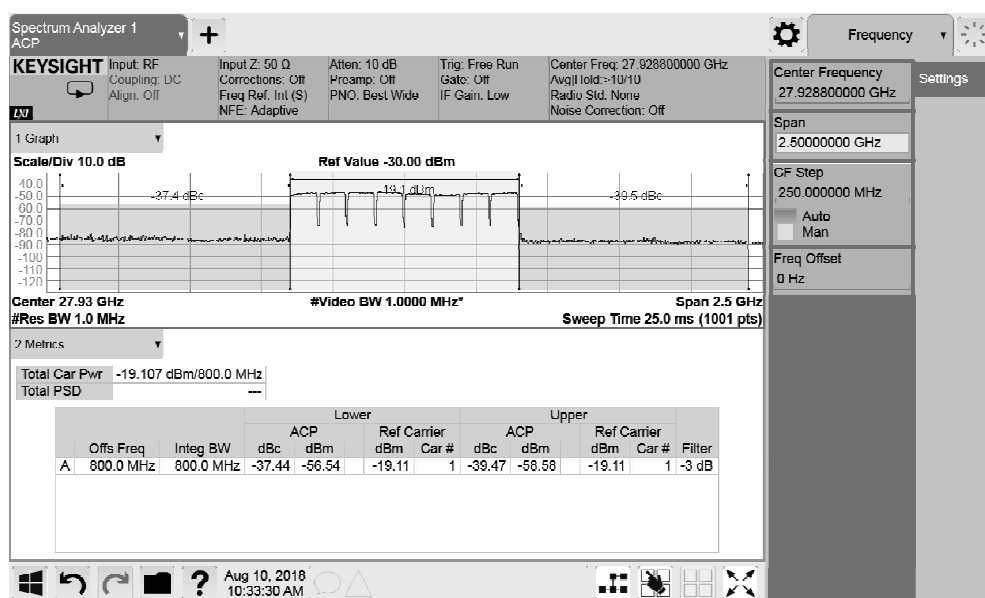
| 측정 거리 (M) | 측정 결과 | | | | | | | | | |
|-----------------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|
| | 100 MHz | | | | | 800 MHz | | | | |
| | Lower | | Ref | Upper | | Lower | | Ref | Upper | |
| | dBc | dBm | dBm | dBc | dBm | dBc | dBm | dBm | dBc | dBm |
| 1 | -37.30 | -64.71 | -27.41 | -38.55 | -65.57 | -37.44 | -56.54 | -19.11 | -39.47 | -58.58 |
| 5 | -27.04 | -67.24 | -40.20 | -28.48 | -67.73 | -27.73 | -58.63 | -31.50 | -27.89 | -59.39 |



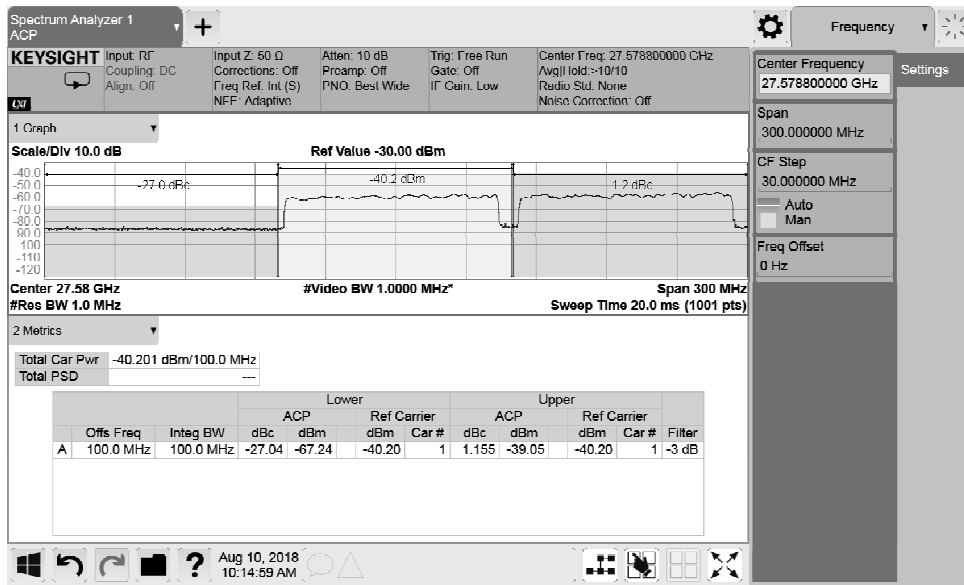
<그림 6-13> 인접채널 Lower 1m(100MHz)



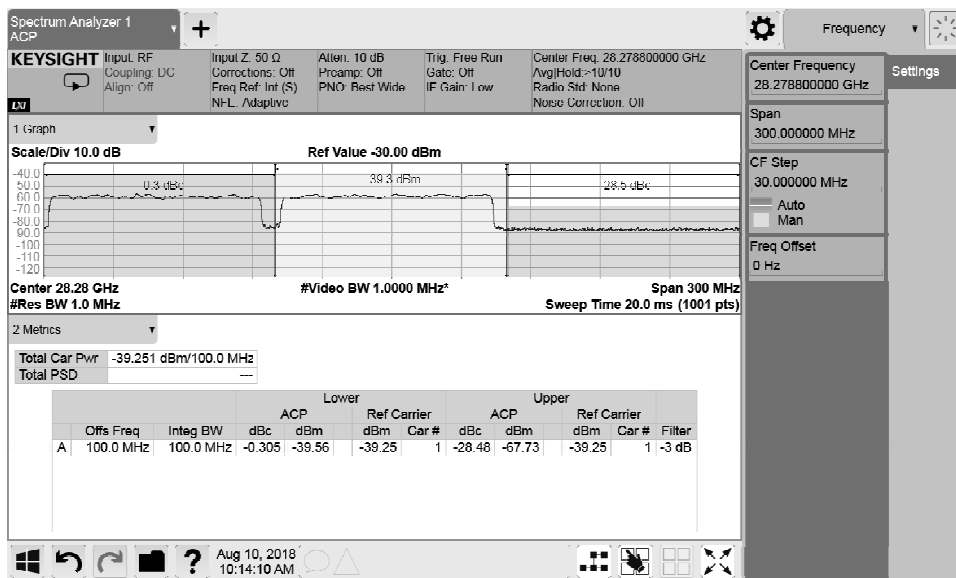
<그림 6-14> 인접채널 Upper 1m(100MHz)



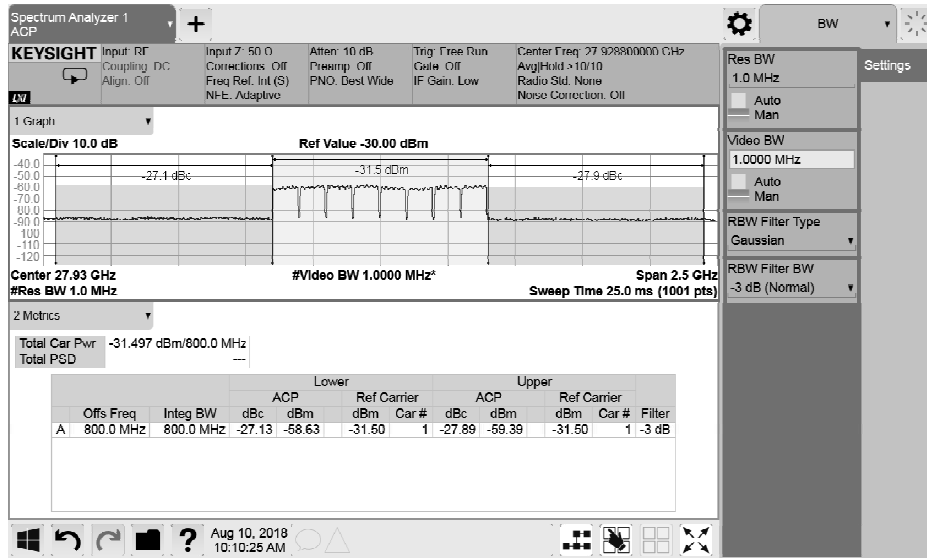
<그림 6-15> 인접채널 1m (800MHz)



<그림 6-16> 인접채널 Lower 5m(100MHz)



<그림 6-17> 인접채널 Upper 5m(100MHz)

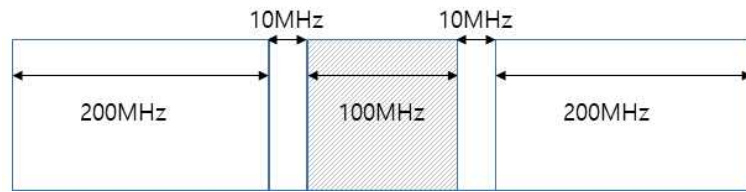


<그림 6-18> 인접채널 5m(800MHz)

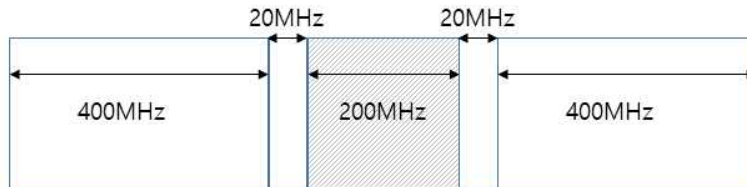
④ 대역 외 발사

| < 기술기준 > | | | |
|-----------|-----------------------------------|-------------------|-------|
| 점유주파수대역 폭 | 점유주파수대역폭 바깥쪽 끝에서 이격(Δf) | 불요발사 평균전력 (총복사전력) | 분해대역폭 |
| 100 MHz | $\pm(0\sim10)$ MHz | -5 dBm 이하 | 1 MHz |
| | $\pm(10\sim200)$ MHz | -13 dBm 이하 | 1 MHz |
| 200 MHz | $\pm(0\sim20)$ MHz | -5 dBm 이하 | 1 MHz |
| | $\pm(20\sim400)$ MHz | -13 dBm 이하 | 1 MHz |
| 400 MHz | $\pm(0\sim40)$ MHz | -5 dBm 이하 | 1 MHz |
| | $\pm(40\sim800)$ MHz | -13 dBm 이하 | 1 MHz |

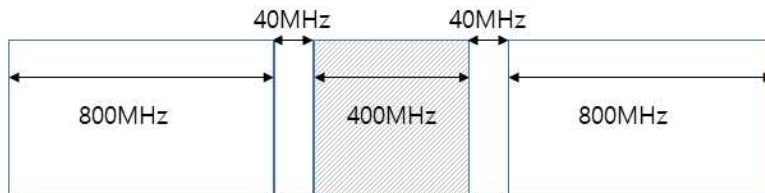
대역 외 발사 기준은 3GPP 기준을 참고하여, 주파수 대역을 각각 100 MHz, 200MHz, 400MHz 에 대한 기준이 설정 되었다. 시료 기지국의 설정 조건 이 800MHz 대역으로 설정되어 <그림 6-19>와 같이 800MHz의 경우에 대한 부분을 추가하여 실험을 하였다. 이는 부득이한 경우로 임의로 추가한 부분이다.



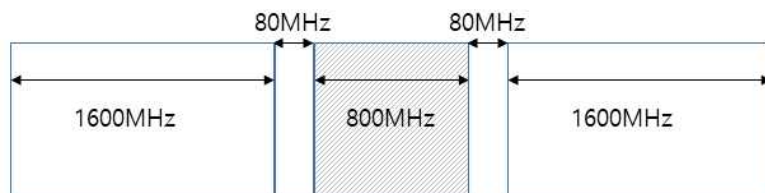
(a)



(b)



(c)



(d)

<그림 6-19> 대역 외 측정 범위

측정 실험은 가능한 측정 환경으로 수행하였으며, Nokia 테스트 기지국으로서 800MHz 대역 신호를 방사하는 기지국이다.

- 주파수 범위 : 25,949.5MHz ~ 27,449.5MHz,
27,449.5MHz ~ 27,529.5MHz
28,330.5MHz ~ 28,410.5MHz,
28,410.5MHz ~ 29,910.5MHz
- 수신 안테나 이득 : 14.3dBi
- 수신 RF Cable Loss : 12.5dB

<표 6-5> 대역 외 발사 측정 결과

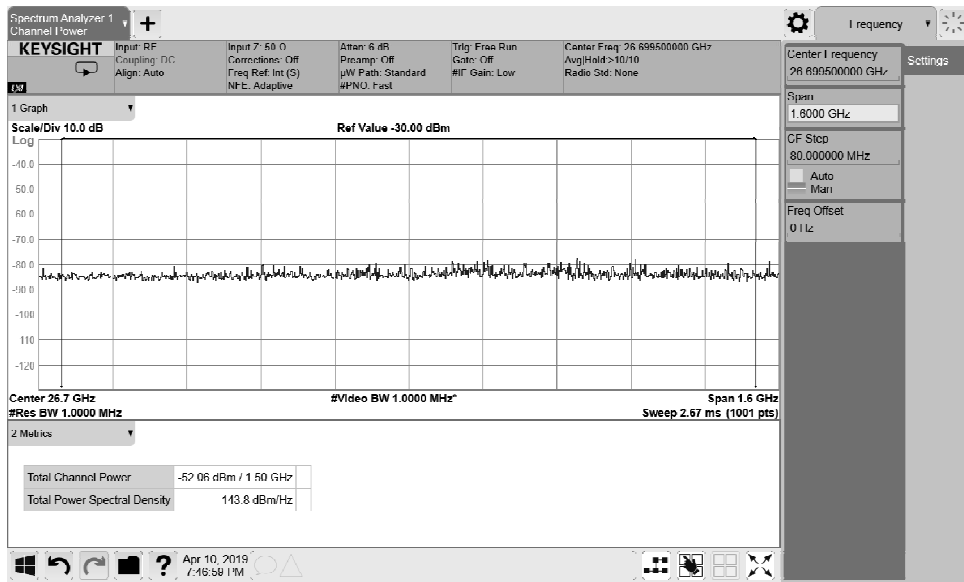
(a) 대역 외 발사 측정 값

| 범위(MHz) | | 25,949.5 ~ 27,449.5 | 27,449.5 ~ 27,529.5 | 27,530 ~ 28,330 | 28,330.5 ~ 28,410.5 | 28,410.5 ~ 29,910.5 |
|---------|----|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|
| 기준(dBm) | | -13 | -5 | | -5 | -13 |
| 측정 값 | 1m | -52.06 | -63.60 | -21.75 | -64.62 | -52.68 |
| | 5m | -53.22 | -64.76 | -34.21 | -65.93 | -53.03 |

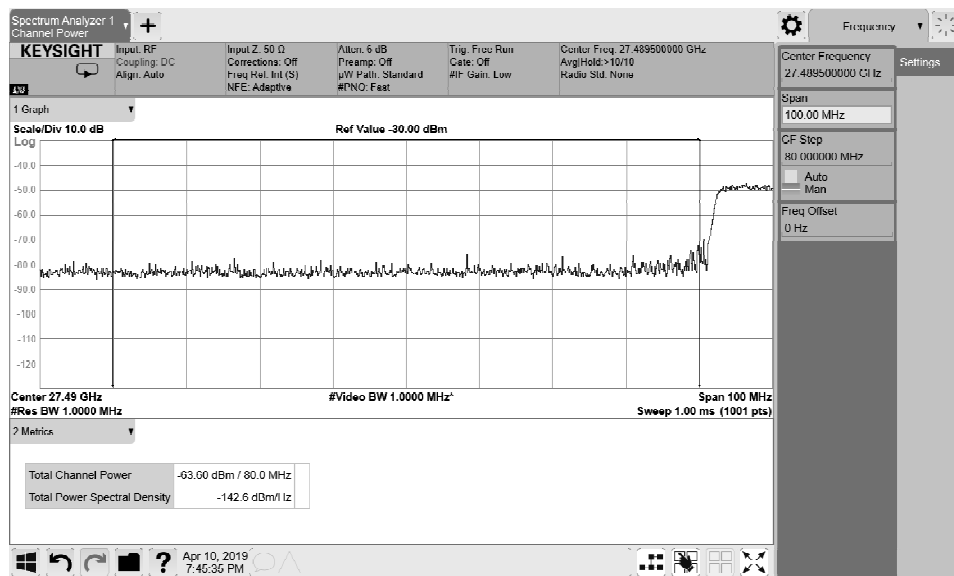
(b)대역 외 발사 측정 결과 (거리 보상 계산 값)

| 범위(MHz) | | 25,949.5 ~ 27,449.5 | 27,449.5 ~ 27,529.5 | 27,530 ~ 28,330 | 28,330.5 ~ 28,410.5 | 28,410.5 ~ 29,910.5 |
|---------|----|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|
| 기준(dBm) | | -13 | -5 | | -5 | -13 |
| 측정 값 | 1m | 7.50 | -4.04 | 37.81 | -5.06 | 6.88 |
| | 5m | 20.32 | 8.78 | 39.33 | 7.61 | 20.51 |

<표 6-5>의 경우 기지국 안테나로부터 1m, 5m각각의 거리에서 측정 한 결과 값이며, 결과 (a)의 경우 측정 지점에서의 측정 값(채널파워)이며, (b)의 경우 거리 환산하여 결과 값을 산출한 것이다. 이는 기술기준 총 복사전력을 기준으로 한 것이며, 인접 80MHz 대역 대한 채널파워 측정과 인근 대역 1.6 GHz 대역에 대한 채널파워 측정값이다. <표 6-5(b)>의 경우 1m와 5m의 거리를 환산하여 해당 대역의 총 복사 전력을 계산한 것이다. 이 결과에 대해서 발생 가능한 오류는 총 복사 전력을 계산함에 있어 거리 보상 값이 실제 신호에 대한 보상 값이 아니라 측정기의 노이즈 플로워 (Noise Floor or DANL)의 영향으로 실제보다 과도한 값이 도출 되는 것이다. 따라서 이러한 오류를 제거할 방법이 없기 때문에 실제 해당 대역에서 최대값의 파워 레벨을 측정하여 계산 도출하는 방법이 대안일 것이다. 이 또한 올바른 방법은 아니나 다른 정확한 방법이 도출 되기 전까지는 최선책일 것이다.

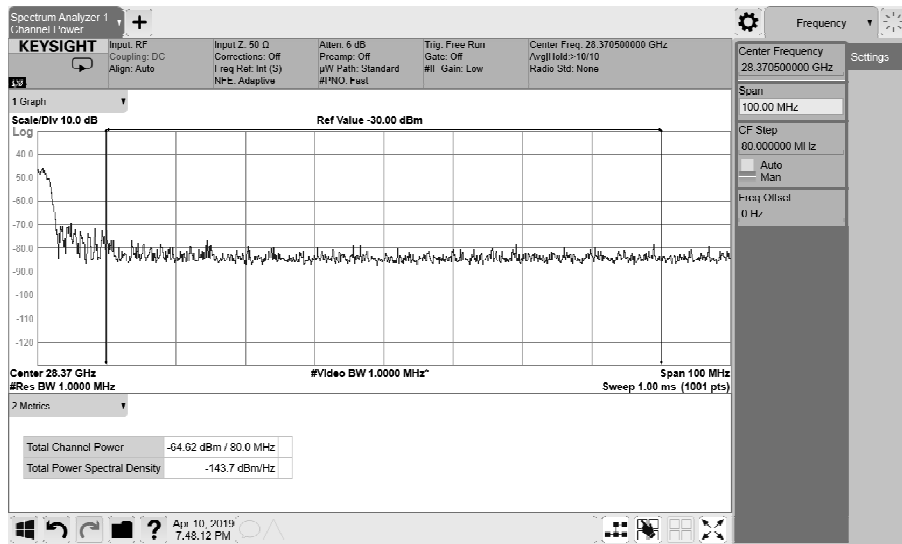


(a) 바깥쪽 이격 대역

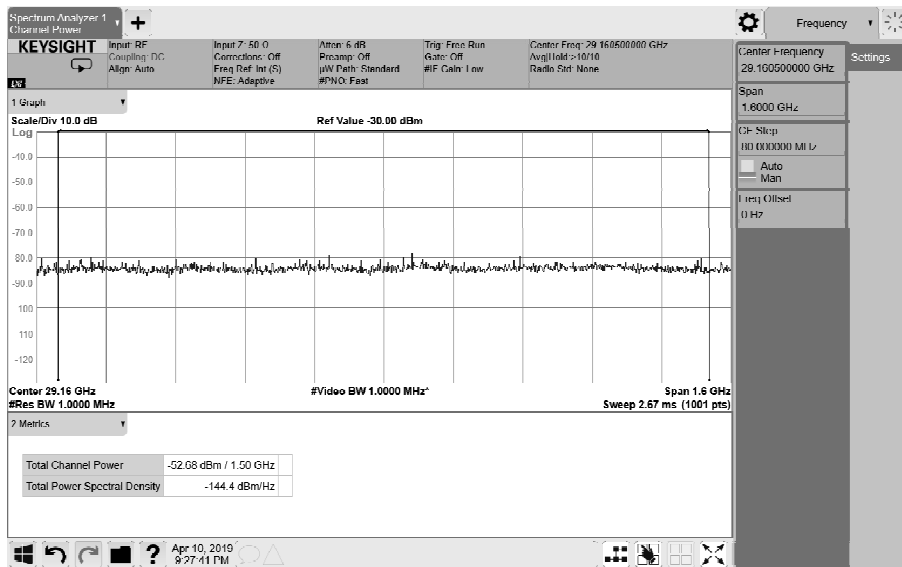


(b) 안쪽 이격 대역

<그림 6-19> 대역 외 발사 Lower 대역 @1m

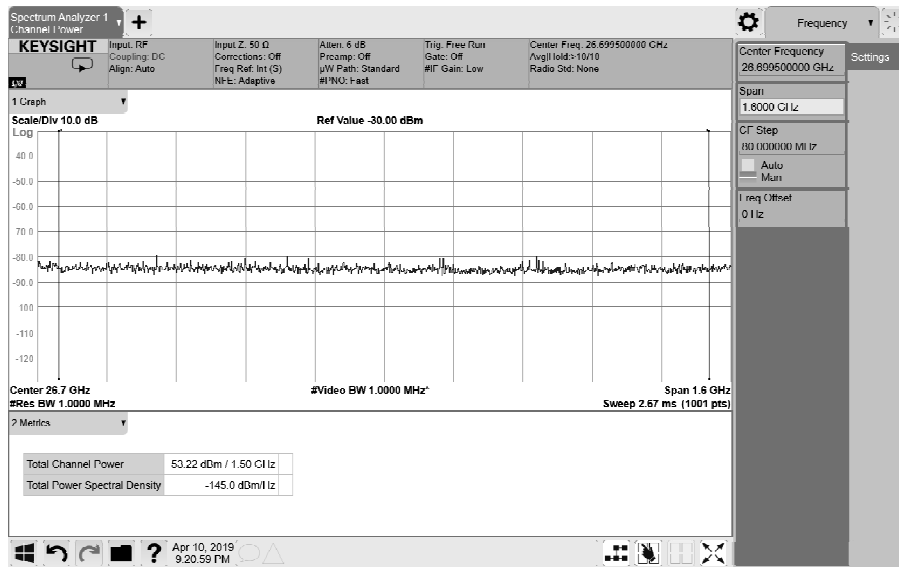


(a) 안쪽 이격 대역

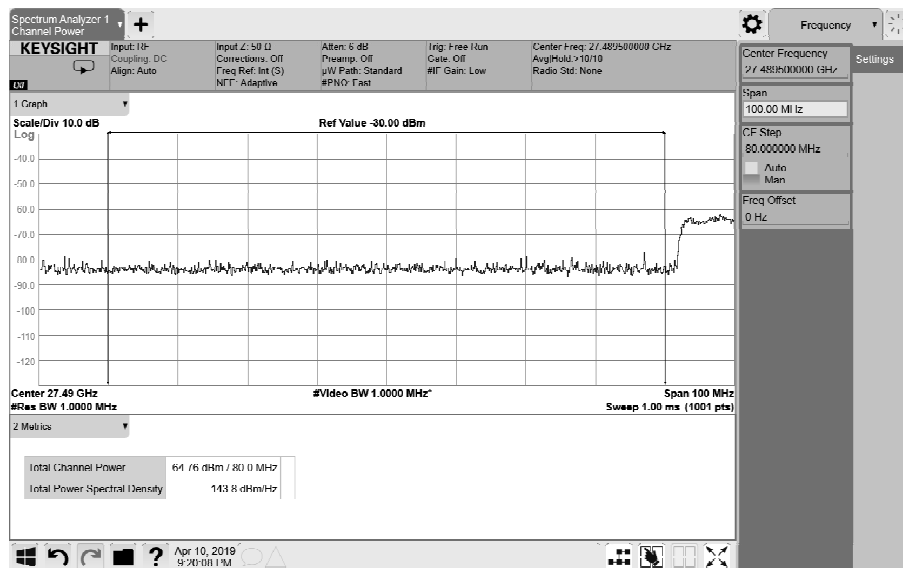


(b) 바깥쪽 이격 대역

<그림 6-20> 대역 외 발사 Upper 대역 @1m

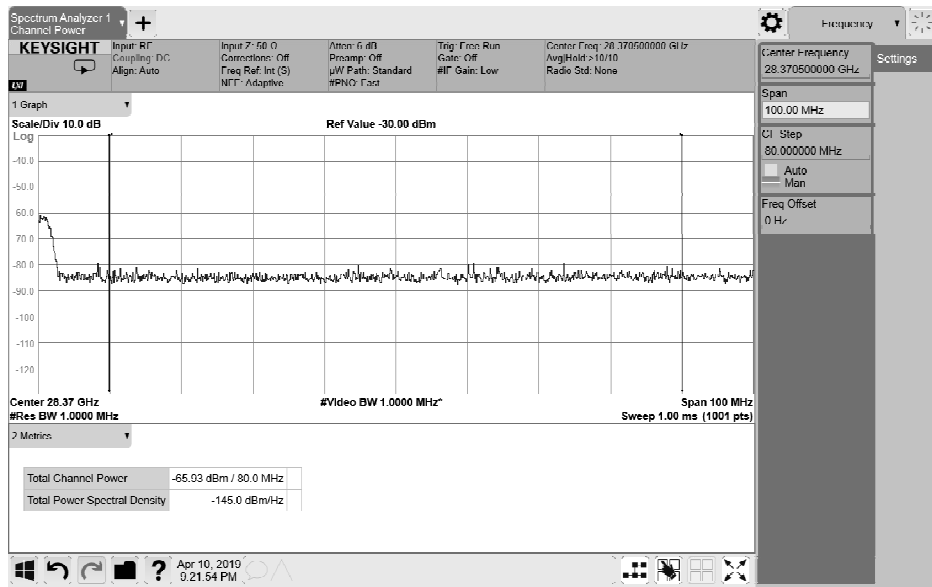


(a) 바깥쪽 이격 대역

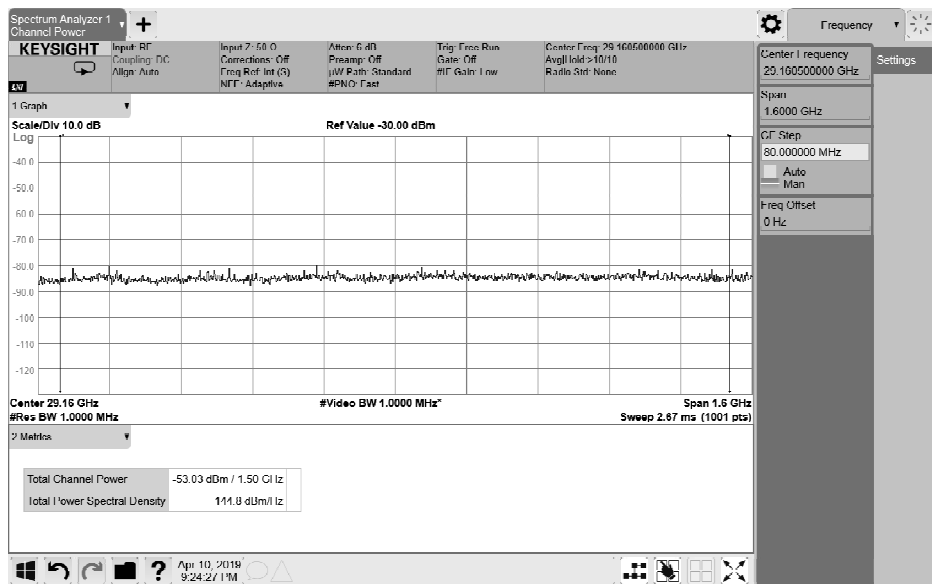


(b) 안쪽 이격 대역

<그림 6-21> 대역 외 발사 Lower 대역 @ 5m



(a) 안쪽 이격 대역



(b) 바깥쪽 이격 대역

<그림 6-22> 대역 외 발사 Upper 대역 @ 5m

<표 6-6> 대역 외 발사 피크레벨 측정 기반 수정 결과

(a) 대역 외 발사 측정 값

| 범위(MHz) | | 25,949.5 ~ 27,449.5 | 27,449.5 ~ 27,529.5 | 27,530 ~ 28,330 | 28,330.5 ~ 28,410.5 | 28,410.5 ~ 29,910.5 |
|---------|----|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|
| 기준(dBm) | | -13 | -5 | | -5 | -13 |
| 측정 값 | 1m | -79.00 | -75.50 | -21.75 | -77.00 | -79.00 |
| | 5m | -80.00 | -78.50 | -34.21 | -80.00 | -81.03 |

(b)대역 외 발사 측정 결과 (거리 보상 계산 값)

| 범위(MHz) | | 25,949.5 ~ 27,449.5 | 27,449.5 ~ 27,529.5 | 27,530 ~ 28,330 | 28,330.5 ~ 28,410.5 | 28,410.5 ~ 29,910.5 |
|---------|----|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|
| 기준(dBm) | | -13 | -5 | | -5 | -13 |
| 측정 값 | 1m | -18.90 | -15.40 | 37.81 | -16.90 | -18.90 |
| | 5m | -5.92 | -4.42 | 39.33 | -5.92 | -6.95 |

<표 6-6>과 같이 측정하여 거리보상 결과를 도출해도 여전히 측정 불합격 수치가 나온다. 이는 실제 장비의 Noise Floor가 여전히 오류에 큰 영향을 미치는 요소이다. 특히 거리가 멀어질수록 이러한 오류는 더 커질 수밖에 없다.

1m 이상의 거리에서는 거리에 따라 다를 수 있지만 안쪽 및 바깥쪽 이격 대역에서의 측정의 보다 높은 정확성을 위해 주파수 해상도(RBW)를 1MHz 가 아닌 100배 더 높은 10kHz 정도로 측정하여 결과를 도출 하는 것을 권고한다.

주파수 해상도 (RBW)설정에 따라 결과가 달라 질 수 있으므로 추후 거리에 따른 주파수 해상도에 대한 이론과 실험적 정립을 거친 후 이에 대한 체계적인 기준을 마련 할 필요가 있다.

⑤ 스퓨리어스 발사

| < 기술기준 > | | |
|------------------|----------------------|---------|
| 주파수대역 | 불요발사 평균전력 (총복사전력) | 분해대역폭 |
| 30 MHz~1 GHz | -13 dBm | 100 kHz |
| 1 GHz~2차 고조파 GHz | | 1 MHz |

- 주파수 범위 : 0.03GHz ~ 1GHz : BW 100kHz
1GHz ~ 27.5288GHz : BW 1MHz
28.3288GHz ~ 48GHz : BW 1MHz

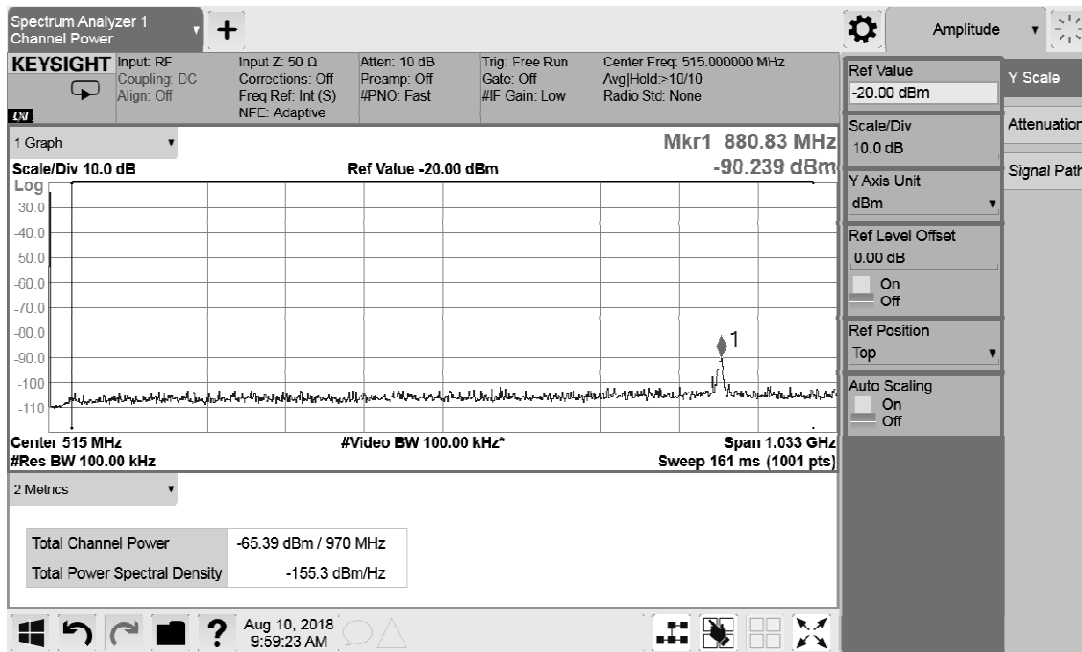
본 기술기준에 대한 해석은 환경에 따라 결과가 달라질 수 있어 매우 어렵다. 복사전력의 측정은 기본적으로 공간상에 존재하는 다른 모든 의도된 신호들이 존재하기 때문에 측정하는 기준을 설정하기 어렵기 때문이며, 다음 두 가지 요소가 측정의 어려움을 존재하게하며, 환경적인 측면에서 이를 극복하기는 어렵다.

- 측정 대상에서의 전파 방사 이외에 무수히 많은 의도되거나 의도되지 않는 신호가 존재 하므로 스퓨리어스 발사에 대한 측정이 안 됨.
- 매우 광대역으로서 측정 장비의 Noise floor가 측정의 한계로서, 거리에 따라 측정 결과가 달라 짐.

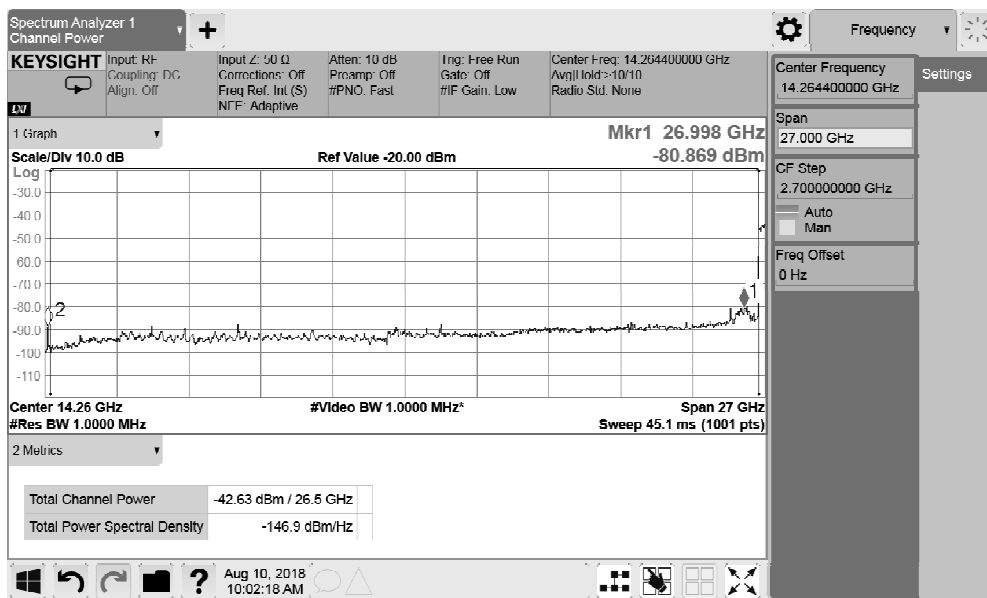
따라서 앞서 대역 외 측정에서 언급된 바와 같이 해당 대역 구간에서의 피트 레벨에 대한 측정을 수행하는 것이 우선 차선책으로 판단된다. 다음 실험 결과는 앞선 실험 조건에서 스퓨리어스 측정을 수행 한 것이다.

<표 6-7> 스퓨리어스 측정결과

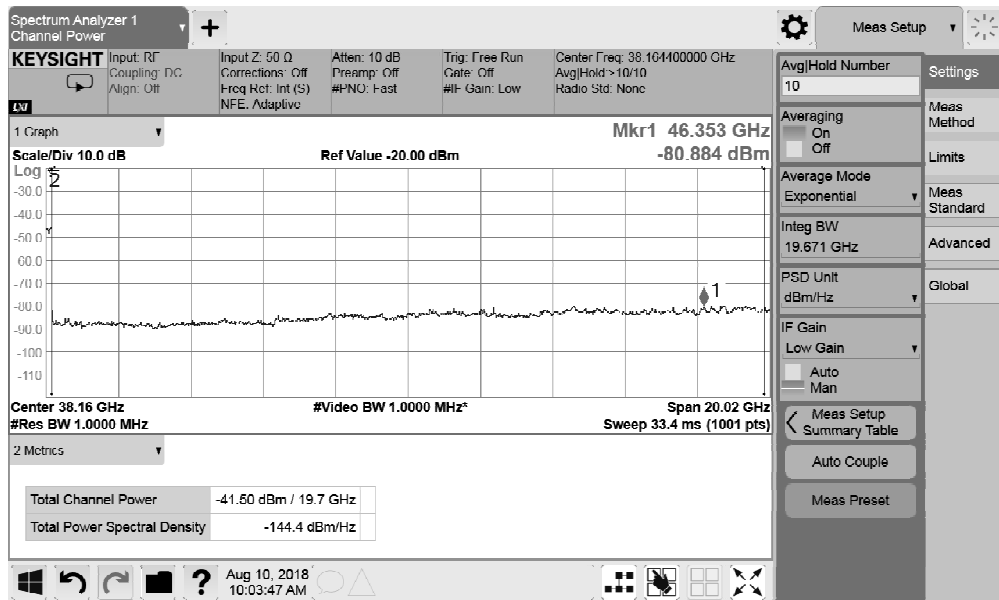
| 측정 거리 (M) | 결과 | | |
|--------------|-------------|----------------|-----------------|
| | 0.03 ~ 1GHz | 1 ~ 27.5288GHz | 28.3288 ~ 48GHz |
| 1 | -90.239dBm | -80.869dBm | -80.884dBm |
| 5 | -107.153dBm | -87.789dBm | -79.922dBm |



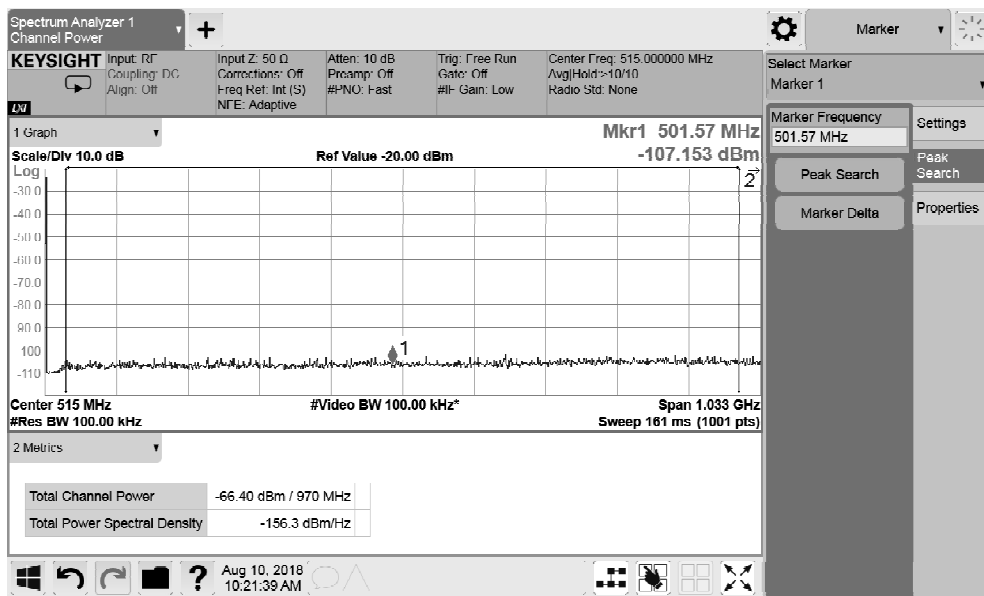
<그림 6-23> 스펙리어스 Lower 1M



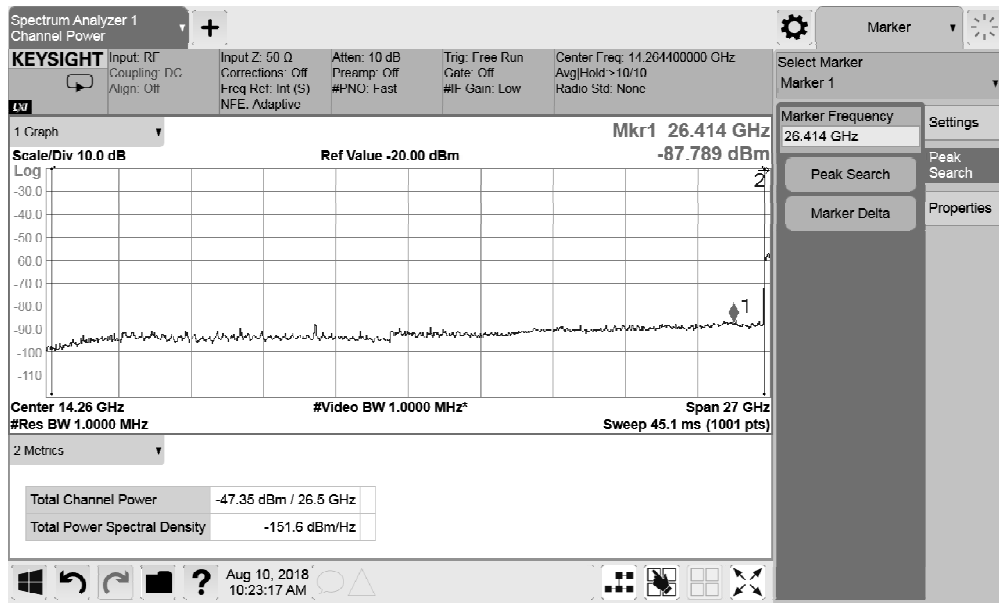
<그림 6-24> 스펙리어스 Middle 1m



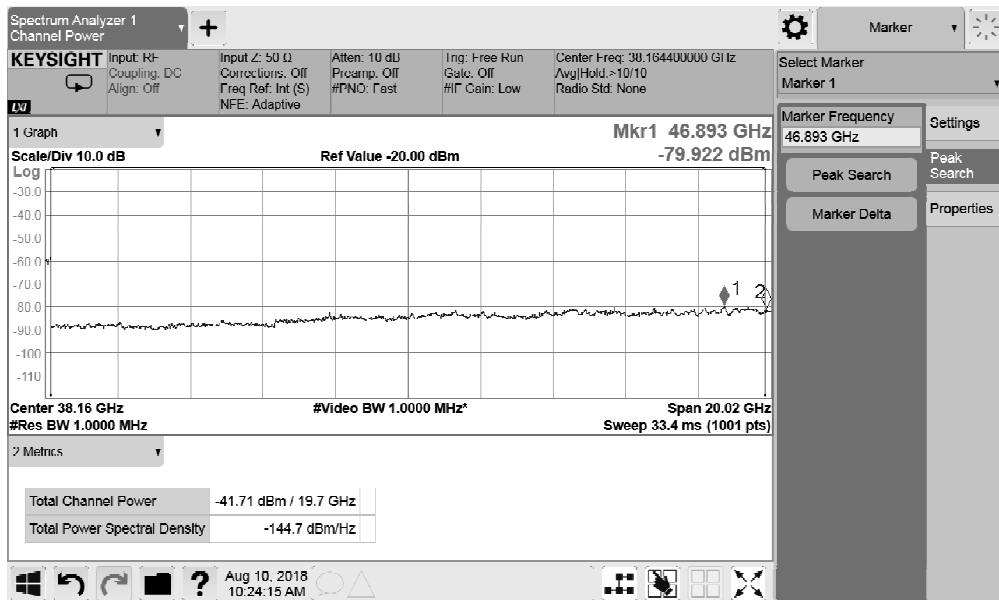
<그림 6-25> 스푸리어스 Upper 1m



<그림 6-26> 스푸리어스 Lower 5m



<그림 6-27> 스푸리어스 Middle 5m



<그림 6-28> 스푸리어스 Upper 5m

측정은 실내에서 실험적으로 이루어진 것이며, 실제 외부 측정 시와 주변 환경에 따라 많이 달라 질 수 있다. 이 항목에 대한 전파 복사 측정은 앞으로 더 연구가 필요하며, 공간에 존재하는 신호들과 기지국에서 발사되는 불요파에 대한 구별과 이에 대한 측정 방법들에 대한 연구가 별도로 더 이루어져야 한다.

우선 생각해볼 수 있는 방법은 기지국 전원을 On, Off를 반복하여 공간에 존재하고 있는 신호의 DB와 비교 판단하는 것이다. 이러한 측정은 근거리에서 측정이 이루어져야 하며, 3, 4m 이상 거리가 멀어질 경우 측정이 어려워진다. 따라서 다음과 같은 절차로 측정을 현장에서 고려해 볼 수 있다.

- 측정 거리를 1~2m 이내로 근접하여 측정 한다.
- 대상 기지국 신호 이외에 스푸리어스 측정 대역에 대한 모든 신호에 대한 주파수 대역 필터링을 한다. (SW 기반 DB화)
- 기지국의 신호를 On-OFF를 반복하여 발생하는 신호를 측정한다.

6.2.2 28GHz 기준신호 기반 기지국 출력 추정 사례

실험에서 사용된 5G 기지국은 NR 규격 데이터가 제공 되지 않고 노이즈 데이터만 발생되므로 5G NR 복조 기반 측정은 5G NR 신호 발생기를 사용하여 측정을 수행하였다. 본 실험은 검증을 위해 직결 측정을 하였다. 측정 장비는 <표 6-8>과 같으며, 그 외의 측정 환경은 다음과 같다.

- 신호 발생기의 신호는 5G NR 100MHz 선택
- 주파수 : 28GHz
- 출력 Power : 0dBm
- 신호 발생기와 측정기간 RF Cable로 직결

<표 6-8> 5G NR Demodulation 측정 장비

| 구분 | 제조사 및 모델 | 기타 |
|--------|-------------------------|----------------------|
| 측정 수신기 | 미국 Keysight /N9020B | 5G NR 스펙트럼 분석기 |
| 신호 발생기 | 미국 Keysight /PXI 신호 발생기 | 5G NR 신호 발생기 |
| RF 케이블 | TOTOKU / TCF 219 | Cable Loss : 12.5 dB |

① 총 복사 전력 (복조 기반 채널 Power)

< 기술기준 >

총복사전력은 지정주파수 마다(점유주파수대역폭(MHz) \times 0.1/MHz)W 이하일 것
출력대비 상한 20%, 하한 기준 없음

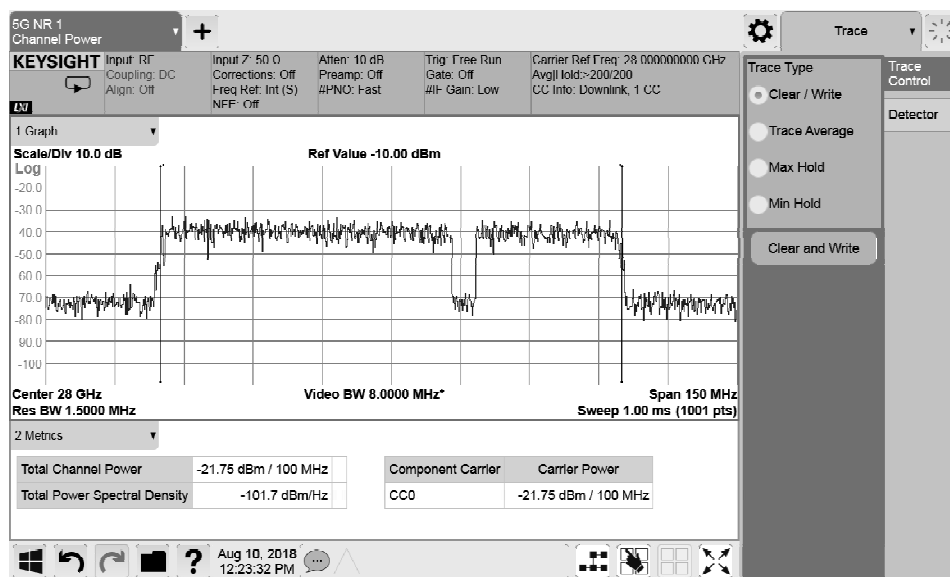
5G NR 은 TDD 기반으로 한 프레임 길이가 10ms이며, 1ms의 서브 프레임 길이 SCS 30kHz의 경우 0.5ms의 슬롯길이를 구성되므로 PRB의 변화 속도는 0.5ms 이하가 된다. 따라서 실제 스펙트럼 분석기의 스위칭속

도가 하나의 심벌 속도 30us 이하가 되거나 최소한 한 슬롯 길이 0.5ms 이하여야 스펙트럼 측정이 가능하게 된다.

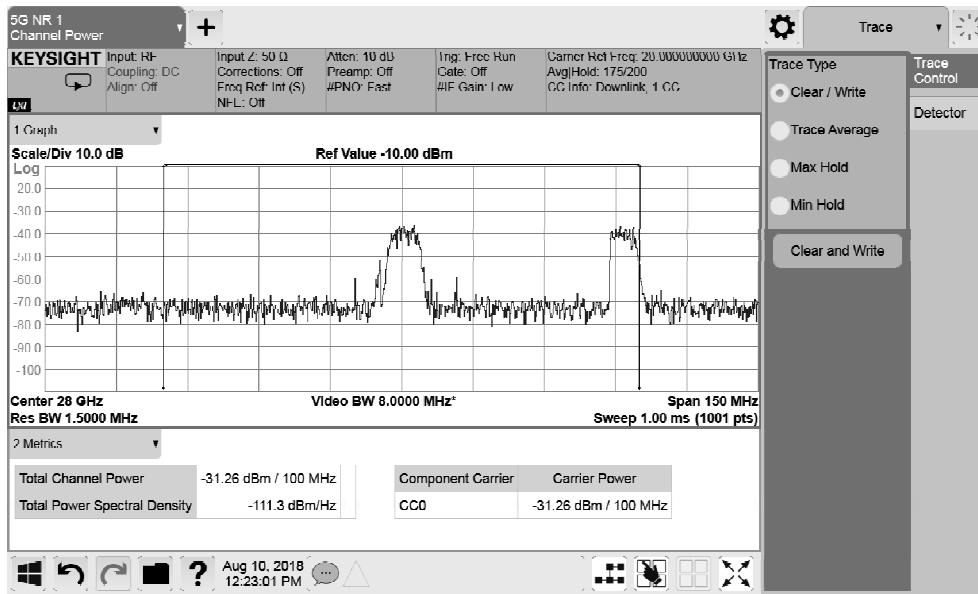
주파수 영역에서 총 복사전력을 계산한 결과는 <표 6-9>와 같으며, 트레이스 업데이트를 계측기의 실시간 형태인 Clear/Write 모드를 선택하여 <그림 6-29>와 같은 결과를 얻게 된다.

<표 6-9> Spectrum 채널 Power 측정 결과

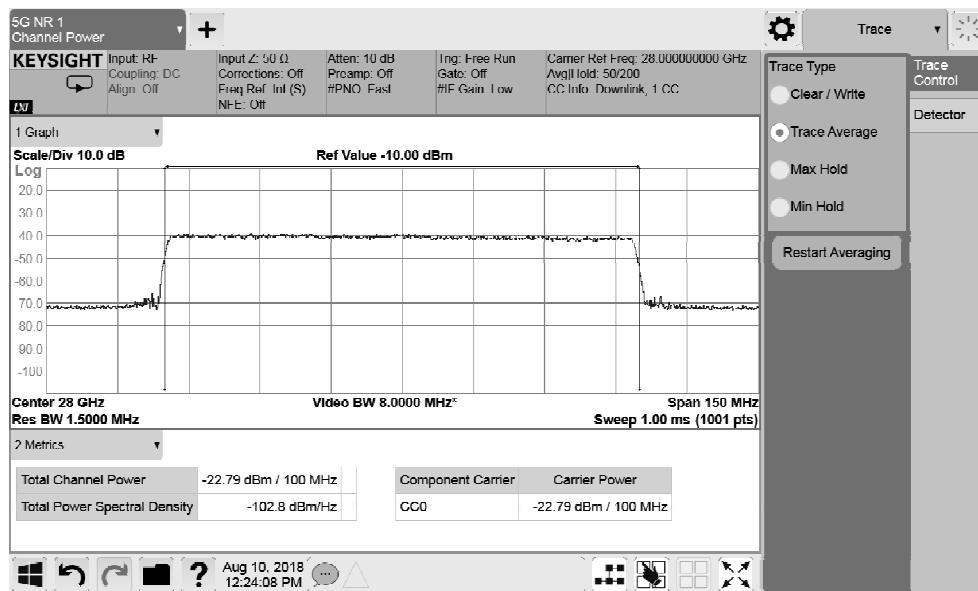
| Trace type 별 채널파워 측정 결과 | | | | |
|-------------------------|--------------|------------------------------------|--------------------------------------|------------|
| Clear/Write1 | Clear/Write2 | Average @(BW:1.5MHz, VB:8MHz | Average @(BW:1.5MHz, VB:180kHz | Max |
| -21.75 dBm | -31.26 dBm | -22.79 dBm | -22.92 dBm | -15.79 dBm |



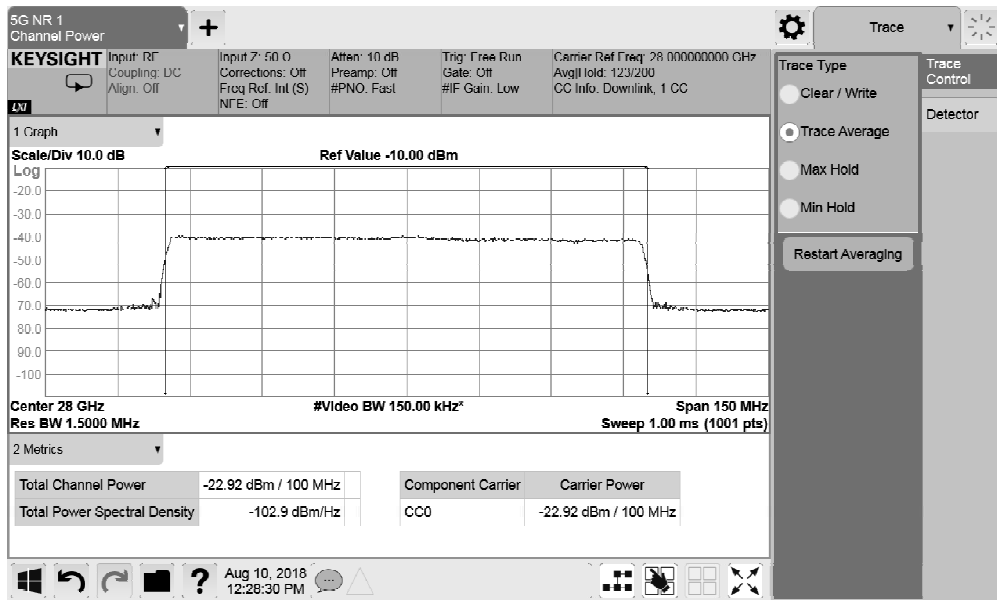
<그림 6-29> Spectrum 채널 Power Clear/Write 1



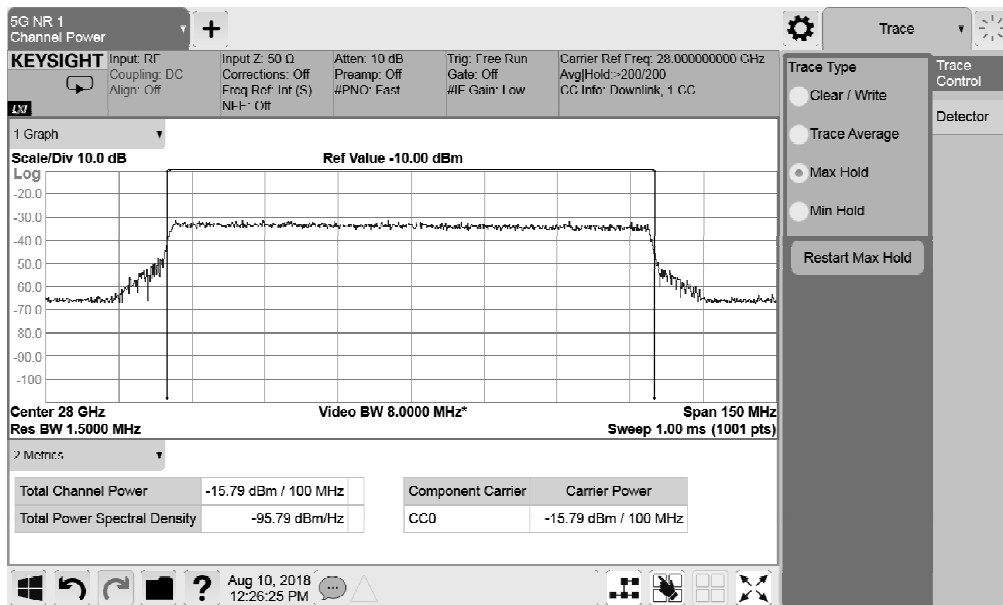
<그림 6-30> Spectrum 채널 Power Clear/Write 2



<그림 6-31> Spectrum 채널 Power Average 1



<그림 6-32> Spectrum 채널 Power Average 2



<그림 6-33> Spectrum 채널 Power Max

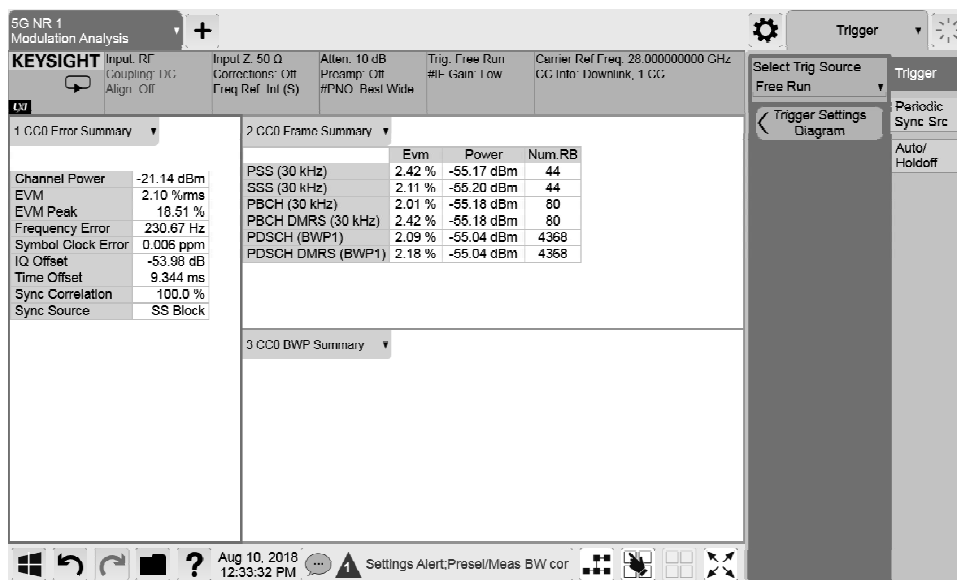
복조된 채널파워 측정 결과는 <표 6-10>과 같다.

<표 6-10> Demodulation 채널 Power 측정 결과

| Demodulation | | |
|--------------|-------------------|--------------|
| 채널 power | PBCH | |
| | Sub-carrier Power | 계산된 채널 Power |
| -21.14dBm | -55.18 dBm | -20.3484 dBm |

- 100MHz 내 NRB : 273
- RB 당 Sub Carrier 수 : 12
- SubFrame : 28 slot 중 26개 Traffic, 2개는 빈 Slot

$$\begin{aligned}\text{계산된 채널 Power} &= -55.18 + 10\log_{10}(273 \times 12 \times 26 / 28) \\ &= -20.3484\end{aligned}$$

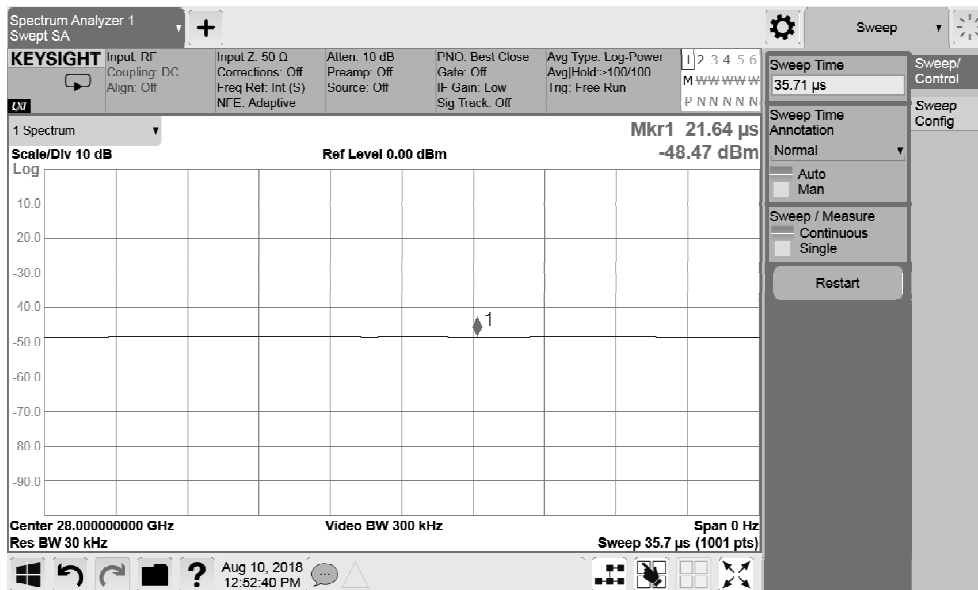


<그림 6-34> Demodulation Summery

채널파워를 시간영역에서 측정한 결과는 <표 6-11>과 같다.

<표 6-11> Time Domain 채널 Power 측정 결과

| Time (Zero Span) | |
|--------------------------------|--------------|
| RB 30 kHz, Sweep Time 35.71 us | |
| Element Power | 계산된 채널 Power |
| -48.47 dBm | -13.32dBm |



<그림 6-35> Time Domain Sub Carrier

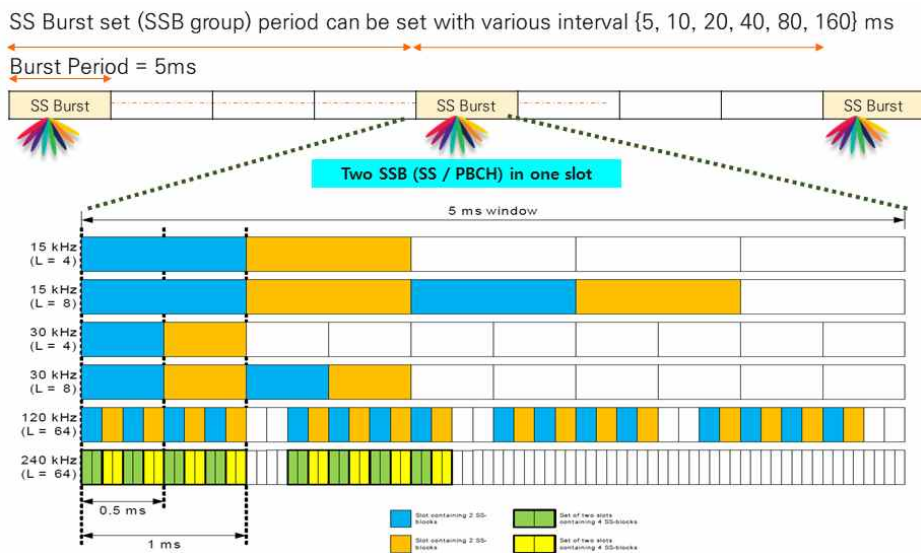
시간영역에서의 순간 최대치 파워 레벨을 측정 하는 경우 다음과 같이 채널파워를 추정 계산 할 수 있다. RBW는 30kHz 이므로 한 서브 캐리어에 해당하므로 다음 수식으로 결과를 도출 한다.

$$P(dBm) = P_{SSB}(dBm) + 10 \cdot \log(\text{최대 RB수} \times \text{서브캐리어수})$$

따라서 측정값이 -48.47dBm이고 35.15 dB 만큼 외삽을 하므로 결과는 -13.32dBm이 된다. 이는 시간 영역에서는 측정의 오류가 크게 발생 할 소지가 크다.

6.2.3 3.5GHz 기준신호 기반 기지국 출력 측정 사례

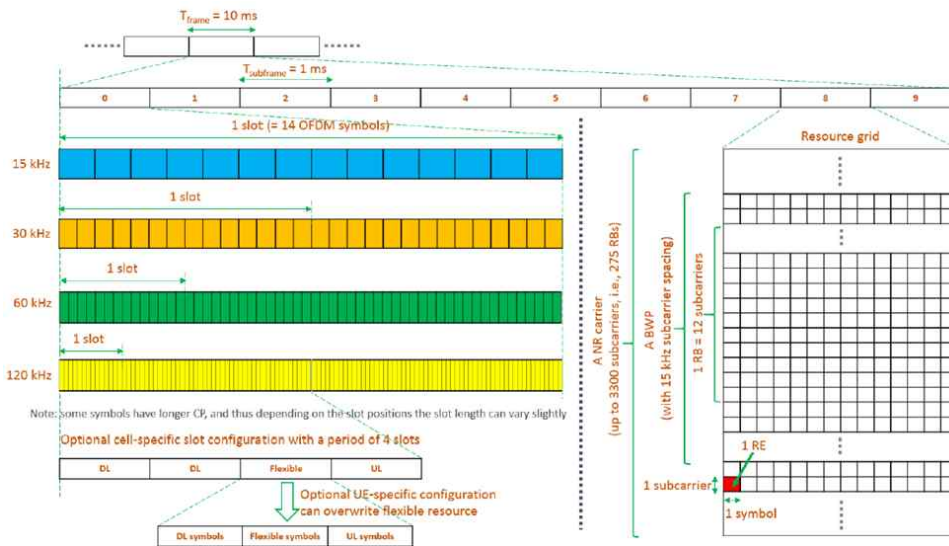
국내 5G NR FR1 기지국의 빔포밍을 위한 PDSCH 신호 구성은 8개의 빔을 구성하는 8개의 SSB로 구성된다. 기지국은 단말이 접속할 수 있도록 상시 일정한 시간 간격으로 기지국 정보를 포함한 SSB Burst 신호를 방사한다. 이는 동기신호블럭(SSB)이 여러 개 구성되어 있는 신호이다. 즉 주기적인 버스트 신호를 방사하고 이에 대한 통신이 연결되면 버스트 신호 사이는 데이터가 실린 트래픽 빔이 방사하게 된다. SS Burst 주기는 5, 10, 20, 40, 80, 160 ms 등 통신 환경에 따라 설정하여 서비스하게 된다. 주기가 길어질수록 전력 효율이 높아지지만, 상대적으로 단말의 수가 많아지면 연결이 늦게 되고 통화가 단절될 수 있으므로 도심지 환경에서는 20 ms 이하로 설정하게 된다. 이때 SS Burst 주기는 반드시 알아야 하며, 네트워크 운영 사업자로부터 정보를 받아야 한다. 정보 획득이 어려울 때 시간 영역에서 직접 측정하여 유추할 수도 있지만 그에 따른 시간과 노력이 수반되어야 한다.



<그림 6-34> 5G NR SS Burst 구조

국내 5G NR FR1의 경우 보조반송파간격(SCS: Sub-Carrier Spacing)은

30 kHz를 사용하며, <그림 6-35>에서처럼 한 슬롯에 2개의 동기신호블럭(SSB)이 구성되는 구조이다. 또한, 대부분 최대 빔 개수는 8개이므로 8개의 동기신호블럭(SSB)이 하나의 SS Burst를 구성하게 된다. <그림 6-35>는 SS Burst 방사 시간 5 ms에서 각 설정에 따른 동기신호블럭(SSB) 구성을 보여주고 있다. 하나의 색이 있는 구역 안에는 2개의 동기신호블럭(SSB)이 있다.

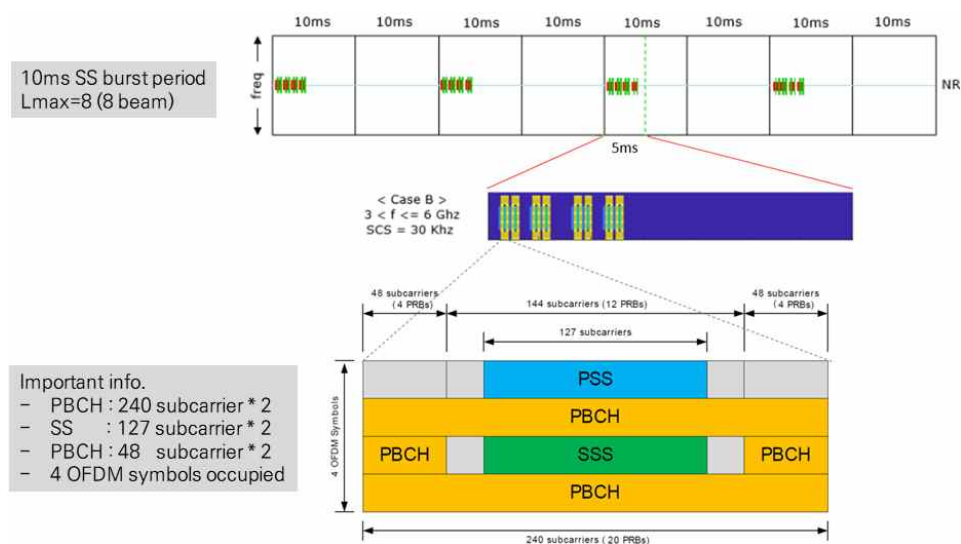


<그림 6-35> 5G NR 프레임 구조 및 Resource grid

5G NR의 기본적인 프레임 구조는 4G LTE와 유사하다. 하나의 프레임 길이는 10 ms이며, 10개의 서브프레임이 1 ms 길이로 구성된다. 하나의 서브 프레임 안에는 보조반송파 간격(SCS)에 따라 슬롯 개수가 결정되어 구성되고 하나의 슬롯에는 14개의 심벌로 이루어져 있다. 전체 자원영역(Resource Grid) 관점에서 보면, 주파수 영역에서는 1개의 보조반송파(Sub-carrier)가 최소 단위이며, 시간 영역에서는 심벌이 최소 단위이다. 주파수 영역에서는 12개의 서브 캐리어가 한 개의 주파수자원블럭(RB: Resource Block)을 구성하며, 100 MHz 대역의 경우 최대 273개의 주파수자원블럭(RB)로 이루어진다. 한 개의 서브캐리어 영역과 심벌영역이 한 개의

자원요소(RE: Resource Element)가 된다. 즉 기준신호 기반 최대출력 예측이란 이러한 시간적 및 주파수적 요소를 측정 분석하여 기준신호 측정 기반으로 최대출력을 예측 할 수 있다는 것이다. 결국, 모든 자원요소에 설정된 조건에 따라 방사되는 전력이 존재한다는 것을 계산하여 결과를 도출하는 외삽하는 방법이다.

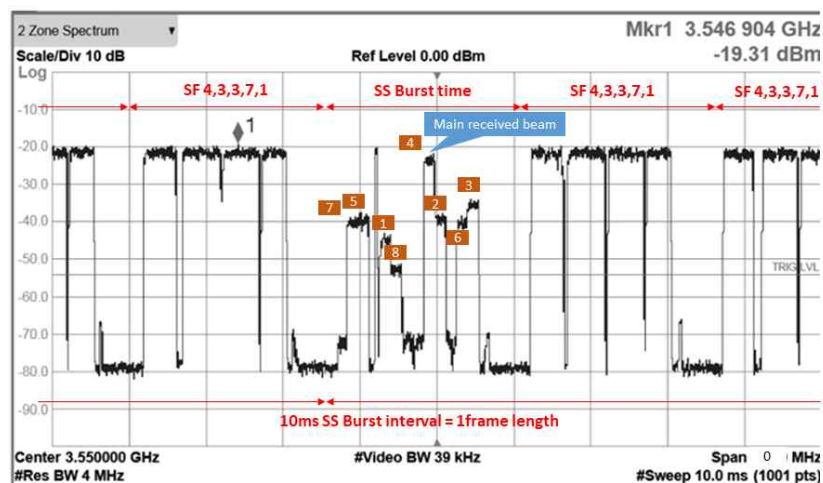
5G NR 기지국 전자파 방사에 대한 최대 출력값을 추출하기 위한 외삽 방법은 동기신호블럭(SSB)에 구성되는 기준 동기신호 (PBCH나 PSS 또는 SSS)의 하나의 자원요소(RE)의 크기를 측정하여 외삽 방법을 취하는 것이다. 따라서 <그림 6-36>과 같이 구성된 동기신호블럭(SSB)을 이해하여야 한다. 동기신호블럭(SSB)은 시간 영역에서는 4개의 심벌구간을 차지하고 주파수 영역에서는 물리적방송채널(PBCH)의 경우 12개의 물리적 자원블럭(PRB: Physical Resource Block)으로 구성되어있고 서브캐리어로는 240개이다. 이는 보조반송파 간격(SCS) 30 kHz의 경우 7.2 MHz 주파수 영역을 점유하는 것이다. 주동기 신호(PSS)의 경우 127개의 서브 캐리어를 점유하며 주파수 대역으로는 3.81 MHz가 된다.



<그림 6-36> SSB의 구성

<그림 6-36>의 경우에 동기신호 버스트 (SS Burst) 주기가 10 ms이고 동기신호 버스트(SS Burst) 시간이 5 ms 동안에 방사되고 실제 100MHz 대역에서 동기신호블럭(SSB)이 점유하고 있는 전력만 방사되므로 트래픽이 없는 경우 방사되는 전자파는 4G LTE 보다 상당히 낮을 수 있다. 그러나 트래픽 부분은 실제 사용자에게 주기적으로 데이터양에 따라 출력이 집중될 수 있으므로 이에 대한 지속적인 측정과 모니터링이 필요하게 된다.

데이터는 주파수 영역에서 자원요소블럭(RB)단위로 변화하며, 시간적 영역에서는 슬롯(Slot) 단위로 변화하게 된다. 따라서 슬롯(Slot)을 구성하는 슬롯포맷(Slot format) 정보를 알아야 한다. 이러한 구성에 따라 실제 방사되는 신호의 크기가 달라진다. 슬롯포맷의 종류는 256개이며 이중 환경에 적합한 슬롯포맷을 선정하여 적용한다. 현재까지의 5G NR FR1에 대한 국내 기지국 슬롯 포맷 설정은 다이내믹한 변화가 아니라 모든 이동통신 서비스 사업자의 협의에 따라 설정된 슬롯포맷을 사용하게 된다.



<그림 6-37> 화웨이 기지국 Test mode 신호 측정(예)

<그림 6-37>는 화웨이 기지국에서 방사되는 실제 기지국 신호이며, 자체 테스트모드 신호이며, 서비스 신호와는 다르다. 10ms 주기마다 8개의 SSB 신호들이 방사되며, 해당 주기 안에 PDSCH 신호는 15개의 슬

롯이 5개씩 3개조로 구성되어 반복 방사된다. 서비스 상태에서의 최대 복사전력 산출 방법은 기준 신호 측정기반으로 각 리소스 자원요소들이 점유되어있는 전력의 합으로 산출하는 방법이 효과적이며 이에 본 보고서는 기본적인 개념을 설명한다.

최대 복사(방사)전력 산출은 기준 신호인 동기신호에서 하나의 자원요소(RE : Resource Element)의 전력 값에 보정인자를 곱하여 얻는다.

$$P_{i,T} = P_r \cdot K_i^{R_0} \quad (6-2)$$

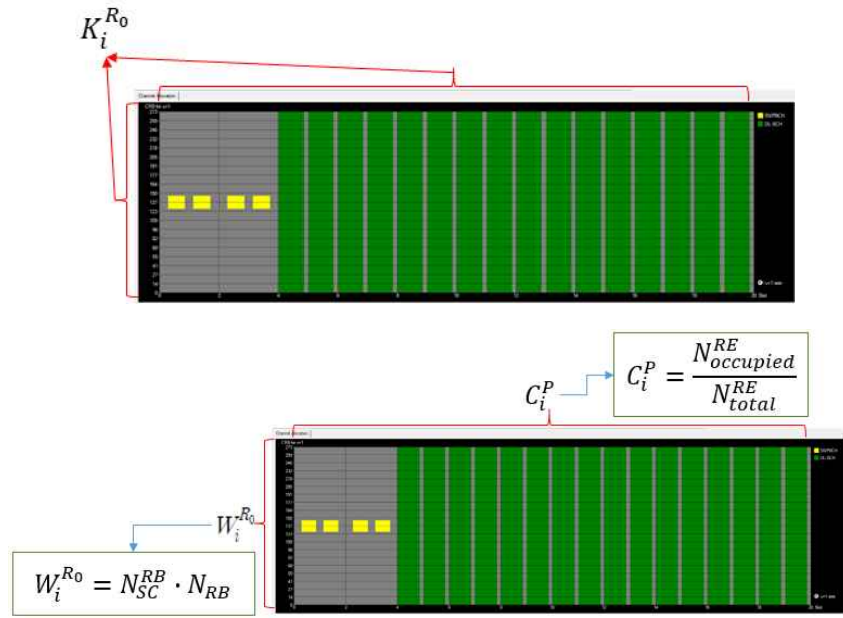
식 (6-2)의 $P_{i,T}$ 는 셀 i에 대한 최대 복사전력 (W or dBm), P_r 은 셀 i 하나의 자원요소(Resource Element)당 기준신호 측정값, 그리고 $K_i^{R_0}$ 은 측정된 동기신호 복사전력을 한주기의 SS Burst 시간영역과 전체 서비스 주파수 대역에서 점유되는 신호 전력을 고려한 인자 또는 계수이다. 즉 전체 전력에서 방사되는 전력의 비를 구하는 것이다. $K_i^{R_0}$ 은 또한 식 (6-3)과 같이 주어질 수 있다.

$$K_i^{R_0} = W_i^{R_0} \cdot C_i^P \quad (6-3)$$

여기서 $W_i^{R_0}$ 는 외삽인자로 주파수 대역 내 전체 RB의 수와 보조반송파 개수를 곱한 값이며, C_i^P 는 보정인자로 한 동기신호세트 주기의 총 자원요소(RE) 개수 대비 한 동기신호 세트 주기에서 전력이 점유된 총 자원요소 개수의 비가 된다. W 외삽인자는 주파수 영역에서의 전체 주파수 지원블럭을 고려하는 인자이다. C 보정인자는 시간 영역에서 전자파의 방사가 지속적으로 100%가 아니고 실제 SS Burst 에서 신호가 없는 구간과 데이터가 실려 있는 트래픽 구간에서 슬롯포맷(Slot format) 구성에 따라 실제 방사 효율이 줄어든다. 이를 계산하여 구하는 것이다. 따라서 전체 보상계수 또는 전체 외삽인자 K 인자 도출은 W와 C 인자를 곱하여 구한다. W 외삽인자는 식 (6-4)와 같이 주어진다.

$$W_i^{R_0} = N_{SC}^{RB} \cdot N_{RB} \quad (6-4)$$

여기서 N_{SC}^{RB} 는 하나의 주파수 자원블럭(Resource Block)으로 구성되는 보조 반송파(Subcarrier) 개수이며, N_{RB} 는 전체 대역폭에서의 총 물리적 주파수 자원 블럭(Physical Resource Block) 개수이다.



<그림 6-38> 보상계수 또는 외삽인자의 개념

<표 6-12> 3GPP TS38.101: 최대 전송대역폭에 따른 N_{RB}

| SCS(kHz) | BW(MHz) | | | | | | | | | | | | |
|----------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 80 | 100 | 200 | 400 |
| 15 | 25 | 52 | 79 | 106 | 133 | TBD | 216 | 270 | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A |
| 30 | 11 | 24 | 38 | 51 | 65 | TBD | 106 | 133 | 162 | 217 | 273 | N/A | N/A |
| 60(FR1) | N/A | 11 | 18 | 24 | 31 | TBD | 51 | 65 | 79 | 107 | 135 | N/A | N/A |
| 60(FR2) | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | 66 | N/A | N/A | 132 | 264 | N/A |
| 120 | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | 32 | N/A | N/A | 66 | 132 | 264 |

마지막으로 보정 인자는 동기신호 버스트(SS Burst) 주기를 기준으로 전체 자원요소 개수 (Resource Element) 분에 점유되어있는 전력의 자원요소 개수의 비율을 구하고 제곱근을 사용하면 결과를 얻을 수 있다.

$$C_i^P = \frac{N_{occupied}^{RE}}{N} \quad (6-5)$$

$N_{occupied}^{RE}$: 한 동기신호 방사 주기에서 전력이 점유되는 총 RE 개수

N_{total}^{RE} : 한 동기신호 세트 방사 주기에서의 총 RE 개수

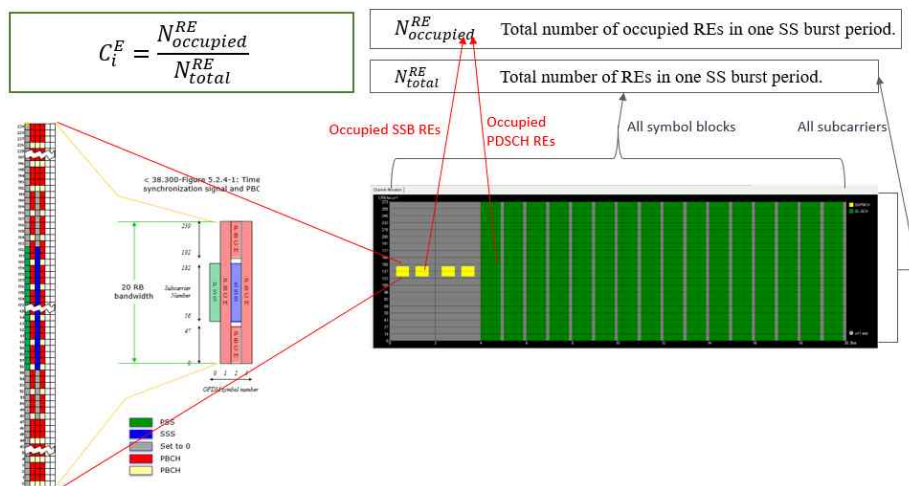
N_{slot} : 한 동기 세트 방사 주기에서의 총 슬롯 개수

N_{sub}^{up} : 슬롯 형식에 따른 상향 및 가드 심벌 총 개수

L : 최대 빔 개수

N_{sub}^{slot} : 한 슬롯 안에 구성되는 심벌 개수

N_{RE}^{ssb} : 동기신호블럭에 차지하고 있는 총 RE 개수



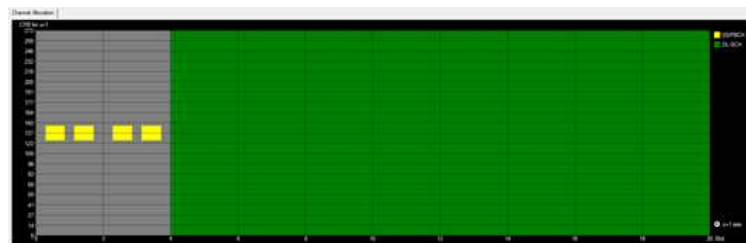
<그림 6-39> 보정 인자에 대한 도출 개념

검증 측정 사례는 다음과 같다. 동기신호에 대한 측정을 통한 최대전력을 구하는 실험으로 앞에서 설명한 내용을 입증해본다.

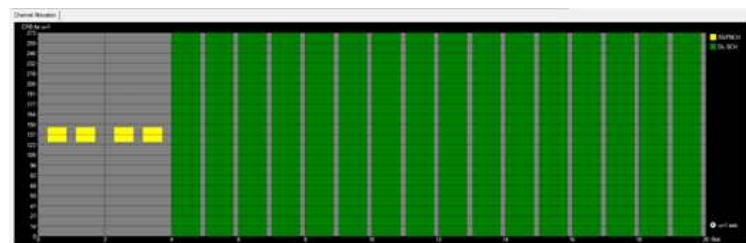
<표 6-13> 실험 측정 장비 및 사양

| Tools | Instrument | Specifications |
|---------------------|-------------------|-------------------------------|
| RF cable | Gore cable | Cable Loss : 1.2dB |
| 5G Signal generator | Keysight / N5172B | 5G NR protocol /100MHz BW |
| 5G signal analyzer | Keysight / N9020B | Zero span, 5G NR demodulation |

5G NR 측정을 위해 Keysight 신호 발생기 (N5172B)와 R&S FSV로 측정을 하였다.



L=8, Slot format0 and 10ms SS Burst period



L=8, Slot format4 and 10ms SS Burst period

<그림 6-40> 하나의 SS Burst 주기구성 내 자원요소

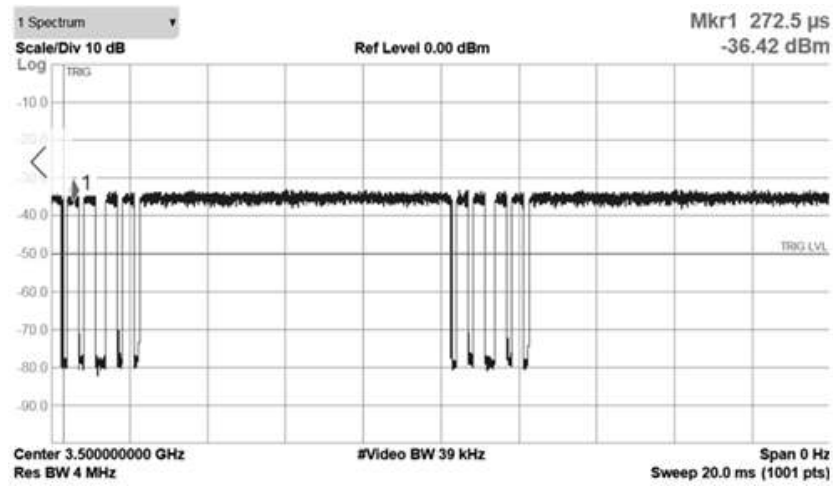
5G NR 프로토콜 기반으로 100 MHz 주파수 대역과 FR1 대역에서 직접 연결 방법으로 검증하였다. 설정 조건은 아래와 같이 슬롯포맷(Slot format) 0과 4 두 가지로 고려하여 비교한다. 빔의 개수는 8개이며, 따라서 8개의 동기신호블럭(SSB)를 구성한다. 동기신호 버스트(SS Burst) 주기는 도심지 환경과 많은 사용자를 고려하여 10 ms로 설정하고, 조반송파간격(SCS)는 30 kHz이다. 한 주기에 20개의 슬롯(slot)이 구성되고 5 ms 의

동기신호블럭(SSB) 방사시간이 설정된다. 두 가지 경우에서 슬롯포맷 (Slot format) 0은 14개의 심벌이 모두 하향인 D이며, 슬롯포맷(slot format) 4는 10개 심벌이 D이고 두 개 심벌이 U가 된다. SSB의 위치는 $S = 4, 8, 16, 20, 32, 36, 44, 48$ 이 된다. 자원요소(Resource Grid)에서 노란색은 동기신호블럭(SSB)이고 녹색은 데이터가 실리는 트래픽 구간이 된다. 즉 노란색 구간에서는 8개의 빔이 차례대로 빠르게 방사하고 트래픽 구간에서는 빔 수가 데이터 전달로 줄어들게 된다. <그림 6-41>은 위 구성에서 슬롯포맷(slot format) 0의 경우이며, 데이터 구간인 데이터 (PDSCH: Physical Downlink Shared Channel) 가 모두 하향(down)이므로 동기신호블럭(SSB)영역을 제외하고는 다 채워져 있는 모습이며, 그림 13은 슬롯포맷(slot format) 4로 한 슬롯(slot) 간격으로 2개의 심벌 구간만큼 Power off가 된다. 슬롯포맷이 4인 경우는 마커로 파워레벨을 측정할 경우 트리거가 어려우므로 측정값의 오차가 더 클 수 있다. 시간 영역에서의 외삽은 측정기의 측정값과 전체 대역에서의 측정값으로 확대 계산하는 간단한 방법이다. 하지만 기지국 구별과 측정의 오차가 큰 단점이 있다.

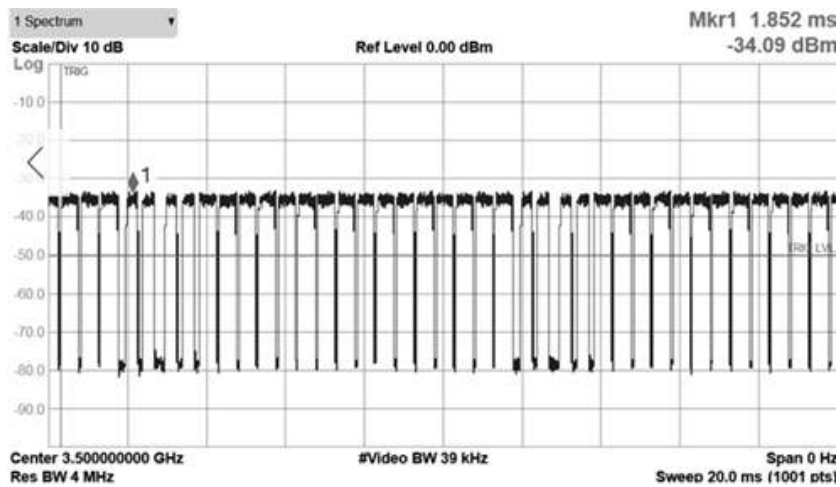
신호발생기의 실험 기준 출력은 -20 dBm 이며, 4 MHz RBW 윈도우를 통한 측정이 슬롯포맷(slot format)에 따라 측정의 값이 달리 읽을 수 있으며 <표 6-14>와 같이 각각 -34.62 dBm , -34.09 dBm 을 얻었다. 이에 전체 대역 100 MHz 를 고려하여 재계산하면 각각 -20.64 dBm 과 -20.11 dBm 을 얻게 된다. 결과는 케이블 손실 오차 정도 발생 되었다.

<표 6-14> 시간 영역에서의 최대출력 추정 실험 결과

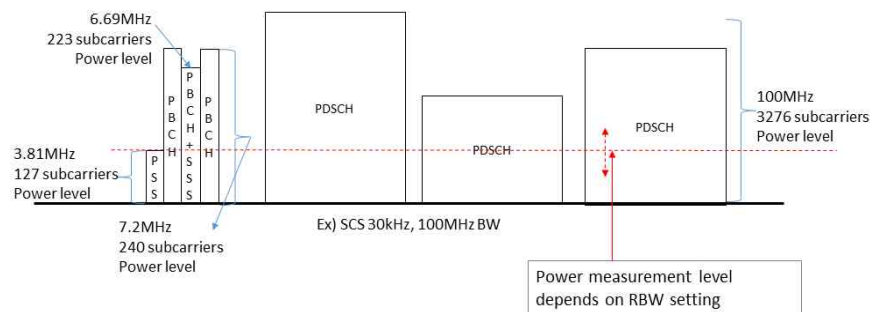
| Format | Level at SSB window (dBm) | Extrapolated Power level (dBm) |
|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 3.5GHz with L=8 and slot format 0 | -34.62 | -20.64 |
| 3.5GHz with L=8 and slot format 4 | -34.09 | -20.11 |



<그림 6-41> 슬롯포맷이 0인 경우의 시간영역에서의 신호



<그림 6-42> 슬롯포맷이 4인 경우의 시간영역에서의 신호



<그림 6-43> 5G NR 신호의 종류에 따른 전력 비율

측정 시 정확한 측정을 원한다면, 항시 측정되는 동기신호인 PBCH, PSS 중 신호 측정이 용이한 신호 전력을 측정한다. 측정기의 필터의 한계로 최대한 SSB 신호들에 대한 정확한 측정을 하여야 외삽 후 값의 오차를 줄일 수 있다.

마지막으로 복조영역에서의 측정은 PBCH 수신전력 값을 이용하여 최대 출력을 추정할 수 있다. <표 6-14>에서의 채널파워는 복조기반의 채널파워 값이며 최대전력으로 출력을 유지한 경우에 대한 결과이다. 두 값을 비교한 결과 기준신호 기반으로 추정된 결과와 유사하여야 한다. 측정된 PBCH 값은 각각 -55.10dBm과 -55.08dBm이고, 이를 외삽하면 각각 -19.95dBm과 -19.93dBm을 얻게 된다. 이를 앞에서 설명한 수식을 이용하여 보정하면 각각 -21.16 dBm과 -21.80 dBm이 되어 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

<표 6-15> 복조영역에서의 측정 결과

| Format | Channel Power (dBm) | PBCH DRMS (dBm) | Extrapolated Power (dBm) | After deduction |
|-----------------------------------|---------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|
| 3.5GHz with L=8 and slot format 0 | -20.87 | -55.10 | -19.95 | -21.16 |
| 3.5GHz with L=8 and slot format 4 | -21.53 | -55.08 | -19.93 | -21.80 |

| 1 CC0 Error Summary ▼ | | 2 CC0 Frame Summary ▼ | | | |
|-----------------------|------------|-----------------------|-----------|------------|--------|
| | | | Evm | Power | Num.RB |
| Channel Power | -20.87 dBm | PSS (30 kHz) | 1188.43 % | -55.05 dBm | 44 |
| EVM | 84.68 %rms | SSS (30 kHz) | 1763.00 % | -55.10 dBm | 44 |
| EVM Peak | 20570.46 % | PBCH (30 kHz) | 837.73 % | -55.08 dBm | 80 |
| Frequency Error | -455.61 Hz | PBCH DMRS (30 kHz) | 936.55 % | -55.10 dBm | 80 |
| Symbol Clock Error | -6.068 ppm | PDSCH (BWP1) | 58.03 % | -55.64 dBm | 4368 |
| IQ Offset | -40.67 dB | PDSCH DMRS (BWP1) | 26.97 % | -55.65 dBm | 4368 |
| Time Offset | 8.247 ms | PDSCH PTRS (BWP1) | --- | --- | --- |
| Sync Correlation | 99.9 % | PDCCH (BWP1) | --- | --- | --- |
| Sync Source | SS Block | PDCCH DMRS (BWP1) | --- | --- | --- |

| 1 CC0 Error Summary ▼ | | 2 CC0 Frame Summary ▼ | | | |
|-----------------------|-------------|-----------------------|-----------|------------|--------|
| | | | Evm | Power | Num.RB |
| Channel Power | -21.53 dBm | PSS (30 kHz) | 1187.96 % | -55.05 dBm | 44 |
| EVM | 122.89 %rms | SSS (30 kHz) | 1694.62 % | -55.03 dBm | 44 |
| EVM Peak | 43361.95 % | PBCH (30 kHz) | 1064.71 % | -55.09 dBm | 80 |
| Frequency Error | -580.27 Hz | PBCH DMRS (30 kHz) | 3576.63 % | -55.08 dBm | 80 |
| Symbol Clock Error | -4.639 ppm | PDSCH (BWP1) | 63.40 % | -56.39 dBm | 4368 |
| IQ Offset | -39.04 dB | PDSCH DMRS (BWP1) | 28.31 % | -55.65 dBm | 4368 |
| Time Offset | 4.330 ms | PDSCH PTRS (BWP1) | --- | --- | --- |
| Sync Correlation | 99.9 % | PDCCH (BWP1) | --- | --- | --- |
| Sync Source | SS Block | PDCCH DMRS (BWP1) | --- | --- | --- |

<그림 6-44> 복조영역에서의 측정 결과 화면 (slot format 0와 4)

제7장 결 론

제7장 결 론

OTA에 대한 3GPP에서 표준은 먼저 단말기에서 시작되었다. 이는 단말기의 경우 소형화되어 직결측정이 어려울 뿐만 아니라 사람의 머리부분에 가까이 대고 통화하기 때문에 실제 성능 변화 및 SAR 등의 측정시 OTA 측정이 필수적이기 때문이다. 기지국의 경우에는 OTA 측정이 상대적으로 늦게 표준화되고 있는데, 현재 대부분의 기지국의 경우 직결측정이 가능하기 때문이다. 단, AAS의 등장으로 OTA 측정이 필요하여 2016년 AAS 기지국의 측정표준인 TS 37.145가 표준화되었다. 하지만 여전히 전자파 차폐실에서 측정이 되고 있으며, 측정항목 역시 AAS 송신기의 경우 Radiated Transmit power 항목만을 측정하도록 되어 있으며, 3GHz 이하에서 조차 기준의 +3.2dB와 -3.2dB 내외의 오차를 허용하고 있다. 따른 중요한 측정항목인 신호품질, ACLR, Spectrum mask, Spurious 등은 직결측정방식으로 측정하도록 되어 있다. 결론적으로 현재 기술수준으로는 OTA 현장측정으로 기술기준에서 제시한 모든 기지국의 성능을 검사하는 것은 어렵다는 것을 알 수 있다.

하지만 밀리미터파 5G NR의 등장으로 기지국 직결측정이 어려운 상태에 직면함에 따라 OTA 방식으로 기지국 성능을 검사하는 방법이 향후 점진적으로 표준화될 것으로 전망된다. 따라서 3GPP의 MIMO 기지국 OTA 측정동향을 파악하고, 이를 선도할 수 있는 연구가 필요하다고 사료된다.

본 연구의 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 현재 5G 기술의 표준화는 3대 축인 Enhanced Mobile Broadband (eMBB), Mission Critical Service(URLLC), Massive IoT(mMTC)의 3대 서비스로 진행되고 있다. 이중에서 eMBB와 URLLC가 5G의 초기서비스가 될 것으로 보이며, 3.5GHz를 중심으로 서비스가 확

대될 것으로 보인다.

- 2) 밀리미터파 5G는 eMBB 중 하나의 중요한 아이템이 되고 있다. 밀리미터파 5G eMBB 서비스는 핫 스팟 중심의 이동통신 환경 뿐만 아니라 고정점대다통신 등을 포함하고 있다. 하지만 고정통신을 제외하고는 실제 단말의 출시여부에 따라 서비스 확산이 결정될 것으로 보인다.
- 3) 선진 각국에서는 5G를 선점하기 위해 서비스, 기술개발, 표준화 등에서 다양한 노력을 경주하였고, 서서히 가시화되고 있다. 표준화의 경우 이동통신 국제 표준화를 주도하는 ITU-R과 사실표준 단체인 3GPP의 타임라인에 따라 일정이 진행되었으며, 2019년 3월 5G 단말이 출시되면 실제 소비자가 느낄 수 있는 5G 서비스가 도입될 것이다.
- 4) 밀리미터파 5G의 경우 경제성 있는 NR 기술 개발의 어려움으로 3GPP에서는 무선구간은 LTE를 사용하고 코어는 5G망을 사용하는 NSA (Non Standalone) 표준이나 3.5GHz를 이용하는 5G 기술이 먼저 상용화될 것으로 예상된다. 반면 밀리미터파 5G의 대중화는 좀 더 시간이 필요할 것으로 보인다.
- 5) 선진 제조사들의 경우 5G를 위한 다양한 기술개발을 진행 중이며, 중요 연구방향으로는 3.5GHz의 경우 기존 20MHz LTE 대역폭을 5배 확장하여 최대 100MHz 대역폭을 유연하게 사용하는 TDD 방식으로 진행하고 있으며, 자유공간 손실을 보상하기 위해 빔포밍 기법을 포함하는 것이 일반적이다.
- 6) 5G 이전에도 3GHz 이하에서 빔포밍을 포함한 MIMO 규격이 발표된 바 있어 빔포밍이 완전히 새로운 기술은 아니다. 빔포밍은 단일 빔의 경우 SISO 기술로 볼 수 있고, 다중 빔의 경우 MU-MIMO 기술과 유사하다. LTE 표준에서는 TM6는 단일 빔포밍이고, TM7 이후는 다중 빔 기반의 MU-MIMO 기술로 볼 수 있다.
- 7) 한편, 기지국의 구성이 다수의 안테나가 일체형을 이루고 있는

AAS로 발전함에 따라 이의 성능검사를 위해 TS 37.145 성능측정 표준이 개발되었다. 표준에서는 직결측정과 전자파차폐실에서의 OTA 측정을 모두 포함한다. 밀리미터파 대역의 5G Massive MIMO 기술 역시 AAS의 일종으로 볼 수 있으므로 AAS 측정표준을 참고할 필요가 있다.

- 8) TS 37.145-2에 의하면 3GPP의 AAS 측정 표준에서 직결측정과 OTA 측정은 상호 보완관계이므로 인증단계에서는 두 방법 모두가 필요할 것으로 판단된다. 다행히 모든 인증 항목을 OTA로 측정하려는 TS38.145-2가 표준화되었으므로 OTA 측정만의 성능검사는 가능해졌다.
- 9) 직결측정이 어려운 무선국 현장검사의 경우에는 OTA 현장 측정으로 기지국 출력 등 일부 성능을 확인하고 직결측정 검사 항목은 대조검사로 진행하는 방안 등이 사용될 수 있다. 하지만, 아직까지 OTA 현장측정으로 무선국 검사의 통과여부를 결정하기는 기술적으로 어려우며, 좀 더 심도 있는 연구가 필요하다.
- 10) 빔이 가변되는 빔포밍과 TDD 환경 하에서 기술기준이 제시한 최대출력보다 실제 특정지점에서 수신되는 전력의 차이를 이론적으로 분석한 결과 4G와 달리 TDD 및 빔포밍의 원인으로 5G에서는 그 차이가 크다.
- 11) 무선국검사는 서비스 시작 전에 수행하는 준공검사와 서비스 시작 후 이루어지는 검사로 분리된다. 준공검사의 경우 TS 38.141-2 표준을 기반으로 테스트 모드(Test mode)를 기반으로 OTA 측정하는 방식을 제안하였다. 하지만 TS 38.141-2 표준은 전자파 챔버에서 수행하는 기지국 성능검사이므로 표준을 따르기 보다는 표준의 일부만을 활용하여 간이로 확인하는 정도의 측정만이 가능하다. 다음으로 서비스 시작 후 이루어지는 정기검사는 2017년 제안한 기준 신호(pilot 채널, SSB 블록 등) 기반의 최대 무선국 출력을 예측하는 방법을 제안하였다.

참 고 문 헌

참 고 문 헌

- [1] Recommendation ITU-R M.2083-0, “IMT Vision - Framework and Overall Objectives of the Future Development of IMT for 2020 and Beyond,” Sept. 2015.
- [2] 김대중, “5G 이동통신 표준화 현황 및 전망,” *TTA Journal*, vol. 163, no. 1, Jan./Feb. 2016.
- [3] 윤영우, “3GPP LTE Evolution 및 5G 표준화 현황,” *5G New Radio 표준기술 워크숍*, Dec. 2016.
- [4] 3GPP RP-161266, “ 5G architecture options - full set,” June 2016.
- [5] 김대중, “5G 표준화 동향 및 전망,” June 2017.
- [6] 한국전파진흥원, 국내외 전파이용 관리제도 조사보고서, 2009년 12월.
- [7] 한국전파진흥원, 주요 외국의 무선국 허가, 검사 및 인증제도 조사 연구 최종보고서, 2005년 8월.
- [8] 장병준, 무선국검사 선진화방안 연구 최종보고서, 2011년 1월.
- [9] 김종현, 디지털통신시스템에 관한 통신품질 측정 연구 최종보고서, 2013년 12월.
- [10] Rohde&Schwarz White Paper, LTE Transmission Modes and Beamforming, July 2015.
- [11] Rohde&Schwarz Application Note LTE Beamforming Measurements, Oct. 2011.
- [12] Wei Fan, et. al., “A step toward 5G in 2020,” *IEEE Antennas&PropagationMagazine*, pp.38-47, Feb. 2017.
- [13] Ya Jing et. al., “Radiated two-stage MIMO OTA test method progress for antenn performance evaluation,” 7th Asia Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility,“ pp. 729-731, 2016.
- [14] Sho Yosida, et. al., “Active antenna for more advanced and economical radio base stations - connection with LTE base station and evaluation of service area quality by field experiment,” *NTT DoCoMo technical Journal*, Vol. 16, No.4, pp.14-21.

- [15] 3GPP, TR 37.840 V0.1.0, Study of AAS Base Station, Huawei.
- [16] 3GPP, TR37.976, Measurement of radiated performance for MIMO and multi-antenna reception for HSPA and LTE terminals.
- [17] 3GPP, TR37-842 V13.2.0. Radio frequency requirement background for active antenna system base station (Release 13), Mar. 2017.
- [18] 3GPP TS 37.145-2 V13.0.0, Active antenna system base station conformance testing: Part 2: radiated conformance testing (Release 13). Nov. 2016.
- [19] 이주열, 김명돈, 정현규, “밀리미터파와 5G 이동통신,” ICT 융합을 위한 통신원리, 한국통신학회 2017년 5월
- [20] Verizon 5G TF; Test Plan - Air interface working group; Verizon 5th Generation radio access; Test plan for air interface (Release 1), July 2016.