

소규모 폐쇄 환경에서 5G RF 중계장치 인프라 설계에 따른 서비스 품질 평가

(An QoS Evaluation with Designing of 5G RF Repeater Infrastructures in Small Closed Environments)

김영진*, 김형진**

(YounGjin kim, HyungJin kim)

요약

본 논문은 소규모 폐쇄 환경에서 5G RF 중계장치의 수신 안테나 위치 선정과 4가지 인프라 설계유형을 제시하고 실험을 통해 각각의 RF 손실과 서비스 품질을 분석함으로써 이동통신 서비스 품질 개선 방안을 제안한다. 먼저 RF 수신 단의 서비스 품질 측정으로 이상적인 수신 안테나 위치를 선정한다. 결과 검증을 위해 각 설계유형별로 중계장치에서 분산되어 있는 안테나까지 RF 손실값을 계산하고, DM 측정을 통해 RF 손실 값과 서비스 품질의 연관성을 분석한다. 결과적으로 중계장치, 급전선, 안테나 등의 설계 요소를 모두 고려한 설계유형3 방식이 기본 설계 대비 가장 작은 RF 손실과 최적의 서비스 품질 지표를 나타낸다. 또한 다양한 인빌딩 서비스 환경에서 설계에 주어진 모든 요소를 반영해야 RF 손실을 줄이고 최적의 서비스 품질 확보가 가능함을 보인다.

■ 중심어 : 5G RF 중계장치 ; 전력제어 ; 인프라 설계 ; RF 손실 ; DM 측정

Abstract

This paper proposes a plan to improve the quality of mobile communication service by selecting the receiving antenna location of the 5G RF relay device in a small closed environment, presenting four types of infrastructure design, and analyzing each RF loss and service quality through experiments. First, the ideal receiving antenna location is selected by measuring the quality of service at the RF receiving end. To verify the results, the RF loss value is calculated from the relay device to the distributed antenna for each design type, and the relationship between RF loss value and service quality is analyzed through DM measurement. As a result, the design type 3 method that considers all design factors such as relay device, power supply line, and antenna represents the smallest RF loss and optimal service quality indicator compared to the basic design. In addition, it is shown that RF loss can be reduced and optimal service quality can be secured only when all elements required for design are reflected in various in-building service environments.

■ keywords : 5G RF relay device ; Power control ; Infrastructure design ; RF loss ; DM measurement

I. 서론

최근 이동통신 무선 네트워크는 5G 서비스와 함께 다양한 이기종 망(Hetnets: Heterogeneous Networks)이 혼재된 네트워크 형태를 가진다. 한편 5G 모바일 데이터 트래픽이 급증하는 무선 네트워

크 환경에서 매크로 셀 커버리지 외에 발생하는 음영영역 발생은 불가피한 상황이다. 특히 데이터 트래픽의 80% 이상은 건물 내부에서 발생함에 따라 인빌딩의 이동통신 커버리지 확장과 용량 증설이 절대적으로 필요하다. 또한 1인 가구의 비중이 점차 증가하면서 건물 내 모바일 트래픽은 더욱 증가하였으며, 그에 따라 더욱 많은 이동통신 네트워크의 무

* 정회원, 전북대학교 IT응용시스템학과

** 정회원, 전북대학교 IT응용시스템학과

이 논문은 2023년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2000-0000000).

접수일자 : 2024년 12월 30일

수정일자 : 2025년 02월 04일

재제확정일 : 2025년 02월 11일

교신저자 : 김형진 e-mail : kim@jbnu.ac.kr

선 주파수의 채널 자원이 필요하다. 하지만 5G 서비스는 3.5GHz의 높은 주파수 특성상 건물구조 및 장애물의 영향이 크므로 인해 건물 내부까지 도달하지 못한다. 또한 고층 건물과 각종 장애물이 밀집되어 있는 도심지의 구조에서 매크로 셀의 커버리지만으로는 이를 개선하기 어렵다. 따라서 건물 내부에서 셀 커버리지와 트래픽 용량 증대를 효과적이고 경제적으로 할 수 있는 다양한 형태의 중계장치가 필요하다[1,2][7].

DAS(Distributed Antenna System)는 인빌딩 내 음영영역 개선과 트래픽 용량 증대를 위해 매크로 기지국 신호를 수신 및 증폭하여 건물 내부로 분배시키는 설비이다. DAS는 매크로 기지국과 3가지 방식으로 연동한다. 하나는 매크로 기지국의 RF 신호를 수신하여 중계장치가 신호를 처리 및 증폭하고 건물 내부로 분배시키는 방식이다. 다른 하나는 오픈 인터페이스 방식으로 매크로 기지국으로부터 디지털 데이터를 직접 수신하여 기지국 정합장치 없이 구현하는 방식이다. 마지막으로 매크로 기지국 프론트에 DAS의 Head-end 장치를 직접 연결하고 광섬유를 이용하여 중계장치에 연동 후 건물 내부로 분배시키는 방식이다[3,4][6][11].

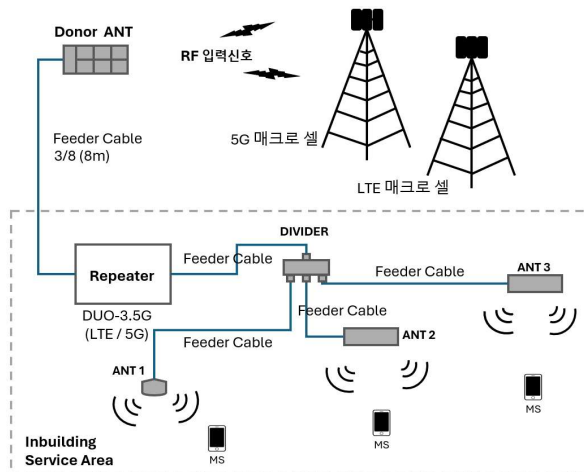


그림 1. 5G RF 중계장치 구성도

5G RF 중계기 역시 [그림 1]과 같이 음영영역을 해소하기 위해 도입된 DAS 인프라 설비 방식 중 하나이다. 이는 매크로 기지국으로부터 수신된 정방향 RF 신호를 입력받아 적정 크기로 증폭하여 건물

내부로 분배한다. 그리고 이동단말로부터 수신된 역방향 신호를 증폭하여 매크로 기지국에 전송하는 역할을 한다. 5G RF 중계장치는 건물의 지하 주차장이나 일반 상가, 주민센터 등의 사용자가 접하기 쉬운 위치에 설치하여 언제 어디서든 건물 내에서 이동통신 무선 네트워크에 연결한다[8].

본 논문은 소규모 폐쇄 환경에서 DAS방식 중의 하나인 5G RF 중계장치의 효과적인 인프라 설계 방안을 제안한다. 인빌딩의 이동통신 서비스 품질은 수신 안테나의 위치와 중계장치 출력단에서 분산된 안테나까지 인프라 구성 방식에 따른 RF 손실값이 좌우한다. 먼저 수신 입력단의 서비스 품질측정을 통해 이상적인 수신 안테나 위치를 선정한다. 결과 검증을 위해 5G RF 중계장치 2대를 사용한 기본 설계 방식 대비 중계장치 1대를 사용한 4가지 인프라 설계유형을 제시한다. 그리고 각 설계유형별로 중계장치 출력단에서 여러 위치에 분산되어 있는 서비스안테나 구간까지 RF 손실 값을 계산한다. 결과적으로 DM(Diagnostic Monitoring) 측정을 통해 RF 손실 값이 서비스 품질 지표에 미치는 영향에 대해 분석한다.

II장에서는 이동통신 서비스 특징 및 관련 연구를 설명한다. III장에서는 수신 안테나 위치 선정과 5G RF 중계장치 인프라 설계 방안을 4가지 유형으로 제안한다. IV장에서는 제안한 5G RF 중계장치 인프라 유형별 RF 손실과 서비스 품질의 연관성을 분석하고, V장에서 결론을 내린다.

II. 5G 이동통신 서비스 관련연구

2.1 이동통신 전력제어

자유공간 상의 무선 구간에서 발생하는 경로 손실로 인해 거리에 따라 전파의 크기는 일정한 비율로 줄어든다. 매크로 셀은 이를 개선하기 위해 기지국에 수신되는 이동단말의 수신전력이 거리와 무관하게 일정하도록 이동단말의 송신 전력을 제어한다. 이처럼 이동통신 전력제어에 있어 전파경로 손실(PL: Path-Loss)이 주요 관건인데 전파경로 손실이란 전자기파가 공간을 통해 전파되면서 굴절, 회

절, 반사, 흡수, 다중경로, 자유공간 손실 등의 다양한 전파환경 요소가 경로 손실에 영향을 준다.

이동통신 서비스 품질에 있어 매크로 셀과 스몰 셀이 혼재된 송·수신 환경에서 전파 거리에 따른 전파경로 손실 모델(PL)은 수식(1)과 같다.

$$PL[dB] = P_0 - 10n \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (1)$$

- P_0 : 기준신호의 수신전력
- d : 송·수신 사이의 거리
- d_0 : 기준거리
- X_σ : 반사, 회절, 산란 등에 의한 손실값으로 표준편차 σ 인 랜덤 가우시안 값
- n : 전파환경의 영향에 따른 경로 손실 지수로 자유공간(2), 실내에서는 (1.6~3.5) 값을 가지며, 값이 클수록 전파환경이 좋지 않음을 의미한다[14].

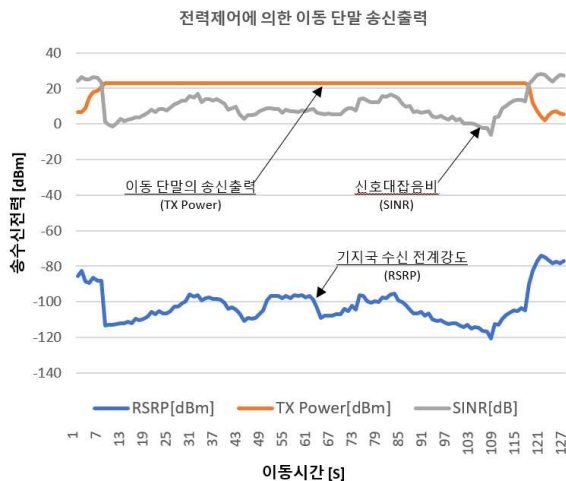


그림 2. 전력제어에 의한 이동단말의 송신출력

[그림 2]는 매크로 셀의 수신 전계 강도에 따른 전력제어에 의한 이동단말의 송신 출력과 신호대잡음비를 나타낸다. 이동단말에 수신되는 매크로 셀의 불규칙한 수신 전계에 따라 이동단말의 송신 전력을 제어한다. 먼저 이동단말은 기지국 참조 신호를 기준으로 경로 손실 및 전송 전력을 계산한다. 그리고 기지국에서 전송된 TPC(Transmit Power Control)만큼 보정된 전력을 다시 기지국으로 전송한다. 기지국은 PUSCH, PUCCH 채널을 통해 전달된 이동단말의 요구전력을 TPC Command의 지속적인 송·수신을 통해 전력제어를 수행한다.

2.2 도심 환경에서 4G·5G 이동통신 전파경로 손실 및 전송속도

도심지의 마이크로 셀이 혼재된 환경에서 4G 채널 모델과 5G 채널 모델의 경로 손실은 수식 (2) 및 수식(3)과 같다.

$$PL[dB] = 36.7 \log_{10} d + 22.7 + 26 \log_{10} f_c \quad (2)$$

- PL : 경로 손실
- d : 기지국과 단말의 거리
- f_c : 중심 주파수(GHz)

$$PL_{UMI-NOLS}[dB] = 35.3 \log_{10}(d_{3D}) + 22.4 + 21.3 \log_{10} f_c - 0.3(h_{UT} - 1.5) \quad (3)$$

- $PL_{UMI-NOLS}$: 경로 손실
- d_{3D} : 기지국과 단말의 3차원 거리
- f_c : 중심 주파수(GHz)
- h_{UT} : 단말의 높이

수식(2)과 수식(3)에서 알 수 있듯이 전파경로 손실은 송·수신간 거리와 주파수에 따라 달라지며, 경로 손실에 따라 전송 용량도 달라진다. 또한 전송 용량에 따라 셀 커버리지도 변화하는데 4G 채널 모델에서는 수식(4), 5G 채널 모델에서 수식(5)과 같이 나타낸다[5][13].

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{1}{N} \times \frac{1}{d^{3.67}} \right) \quad (4)$$

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{1}{N} \times \frac{1}{d^{3.53}} \right) \quad (5)$$

위와 같이 이동통신 서비스는 전력제어를 통해 경로 손실이 적고 매크로 셀의 수신 전계 강도가 크면 이동단말의 송신 출력은 낮아진다. 그리고 반대의 경우는 이동단말의 송신 출력은 높아진다. 또한 매크로 셀의 수신 전계 강도가 임계 값 이하일 때 해당 구간에서는 이동단말의 송신 출력이 최대가 됨을 알 수 있다. 특히 건물구조 및 환경에 따른 전파경로 손실이 큰 건물 내부에서는 그 현상이 더욱 심하게 나타난다.

2.3 5G 서비스 모드 및 서비스 품질 지표

5G 서비스 표준은 Core망과 무선접속 방식 간에 다양한 연결 방식을 지원한다. 현재 5G는 옵션3 계

열의 RAN(Radio Access Network) 구조인 NSA(Non-standalone) 서비스 모드를 지원한다. 이는 기존 LTE의 EPC(Core 망)이 eNB를 Master Node로 사용함과 동시에 NR 기지국인 En-gNB를 Second Node로 사용한다. 즉 단말의 이동성(mobility)를 담당하는 Control Plane의 동작은 LTE 망을 사용하고 User Plane/Data Plane에 해당하는 데이터 처리는 5G 망을 통해서 서비스한다. 따라서 현재의 5G 서비스는 LTE(4G) 인프라와 하나의 네트워크처럼 운영함으로써 LTE(4G) 서비스의 의존도가 높고 품질 파라미터 역시 밀접한 연관성을 갖는다.

5G의 상·하향 링크의 서비스 품질 지표는 아래와 같다.

<하향 링크 서비스 품질 지표>

■PBCH(Physical Broadcast Channel): 매크로 셀과 이동단말의 초기 접속에 사용하는 채널이다.

■PDCCH(Physical Downlink Control Channel): DCI(Downlink Control Information)을 전송하는데 사용하는 채널로 DCI에는 사용자 데이터의 자원 영역의 위치 및 이동단말에서 사용자 데이터를 디코딩 하기 위해 필요한 정보를 포함한다.

■PDSCH(Physical Downlink Shared Channel): 이동단말의 사용자 데이터를 전송하는데 사용하는 채널로 변조 방식으로 QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM이 이동단말의 전파환경에 따라 선택적으로 사용한다.

<상향 링크 서비스 품질 지표>

■PUSCH(Physical Uplink Shared Channel): 이동단말의 사용자 데이터와 UCI(Uplink Control Information)를 전송하는데 사용하는 채널로 UCI에는 이동단말의 사용자 데이터 자원 영역 위치 및 다운 링크 사용자 데이터의 수신 오류 여부를 매크로 셀에 알리기 위한 업 링크 자원 영역의 위치 정보를 포함한다.

■PUCCH(Physical Uplink Control Channel): UCI, HARQ-Ack, SR(Scheduling Request) 정

보를 전송하는 채널이다.

■PRACH(Physical Random Access Channel): 이동단말에서 매크로 셀로 Random Access Preamble을 전송하여 초기 접속에 사용하는 채널이다[9,10][12].

또한 3GPP에서 정의된 LTE 서비스의 대표적인 품질 지표는 RSSI, RSRP, RSRQ이다.

RSSI(Received Signal Strength Indicator)는 측정 대역폭 내의 RB(Resource Blocks)에 대한 총 수신 전력의 평균값이며 단위는 dBm이다. 인접 채널 간섭이나 열잡음 등을 모두 포함하며 수신된 신호의 세기를 나타낸다.

RSRP(Reference Signal Received Power)는 측정 대역폭 내에서 특정 셀에 속한 참조(Reference) 신호를 실은 Resource Elements(REs)의 평균전력이며 수식(6)과 같다.

$$RSRP = P_{RS} - P_{Noise} [dBm] \quad (6)$$

• P_{RS} : 참조 신호의 평균전력

• P_{Noise} : REs의 평균 노이즈 전력

RSRP는 특정 심벌에 대한 신호의 세기를 나타내며, 평균 노이즈 전력을 고려하지 않으면 정확한 값을 구하기 어렵다.

SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio)은 신호와 잡음의 비를 dB 단위로 표현한 지표이다. 이동단말은 각 RB의 SINR을 CQI(Channel Quality Indicator)로 변환하여 매크로 셀에 보고한다. 이는 사용자의 데이터 전송에 가장 적합한 MSC(Modulation and Coding Scheme)을 선택하는데 사용한다.

RSRQ(Reference Signal Received Quality)는 같은 RB에서 측정된 RSRP와 RSSI의 비이며 수식(7)과 같다.

$$RSRQ = N \times \frac{RSRP}{Carrier RSSI} [dB] \quad (7)$$

• N : RSSI를 측정한 대역폭 내 RB의 개수

2.4 5G 이동통신 품질개선

이상적인 전파환경 구성을 위해서는 매크로 셀과

이동단말 사이의 전파적인 장애물을 최소화하여 경로 손실을 최소화해야 한다. 그러기 위해 서 이동단말까지 전파 경로상의 장애물을 최소화하거나 전파 음영영역에 중계장치를 사용한 전파환경 개선이 효과적이다.

매크로 셀 및 스몰 셀과 이동단말 구간의 전파장해 요소 및 벽 침투 손실을 최소화하기 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 전파환경이 가장 열악하고 기지국 수신 전계 강도 변화가 심한 건물 내부 및 주차장, 승강기 등의 소규모 폐쇄 환경에서 5G 이동통신 서비스 품질 개선을 위한 여러 방안을 제시하고 있다.

첫 번째는 외부의 매크로 셀 및 스몰 셀의 안테나를 사용하여 건물 내부로 직접 전파를 조사하여 수신 전파환경을 개선하는 방식이다. 이 방식은 외부 매크로 셀의 기지국 신호가 주파수대역 및 건물구조, 재질에 따라 경로 손실이 크고 불규칙하여 건물 내부로의 전파가 도달하기 힘들다. 두 번째는 매크로 기지국 프론트에 중계장치의 Head-end 장치를 직접 연결하고 건물 내부의 중계장치까지 광파이버로 연결하여 전파를 인가하는 방식이다. 이 방식은 안정적인 송·수신 링크 구성이 가능하며 외부의 영향이 가장 적고 안정적인 서비스가 가능한 방식이다. 그러나 건물이 밀집된 도심 환경에서 송·수신 구간에 광파이버 구성이 어려운 단점이 있다. 세 번째는 소규모 맥내 및 승강기 내부 서비스를 위해 설치하는 중계장치까지 IP망으로 연동하고 중계장치에서 RF 신호로 변환하여 서비스하는 형태이다. 이 방식은 매크로 기지국의 하나의 소형기지국인 스몰 셀(Small Cell) 개념으로 커버리지 증대 및 트래픽 분산에 유용하다. 그러나 RF 출력이 10mW급으로 작은 출력에 따라 서비스 영역도 제한적이다. 네 번째는 외부 매크로 셀의 RF 입력신호를 입력받아 건물 내부의 중계장치로 연결한 후 증폭하여 내부의 분배 장치 및 안테나를 통해 서비스하는 방식이다. 이 방식은 매크로 셀 기지국 영역에서 각 건물 단위로 RF 신호를 수신하여 해당 건물 내부의 중계장치를 통해 서비스하는 방식이다. 또한 입·출력 RF 신호

구간의 주파수 격리도(Isolation)가 충족되는 조건에서 0.2W급(23dBm)의 안정적인 서비스가 가능하다. 따라서 네 번째 방식이 매크로 셀의 RF 신호 입력을 양호하게 하고, 주파수 격리도 확보 및 중계장치의 인프라 구성에 따라 가장 효율적인 서비스 품질 확보가 가능하다[6][11][14].

III. 5G RF 중계장치

3.1 기본 설계

[그림 3]은 DAS 인프라 설비 방식인 5G RF 중계장치를 사용한 기본 설계 방식이며, 주어진 설계 환경에서 가장 일반적인 설계 구조이다. 현재 5G 서비스는 LTE(4G) 인프라와 하나의 네트워크처럼 운영함에 따라 2가지 서비스를 모두 제공해야 하므로 5G·4G 듀얼모드 RF 중계장치(Repeater)를 사용한다. 서비스안테나의 RF 출력은 인빌딩 폐쇄 환경의 구조, 넓이 등의 구조적 특성과 서비스 환경을 고려한 인프라 구성 형태에 따라 RF 손실 및 종단 출력이 다르다. [그림 3]은 가장 일반적인 서비스 형태인 한 장소에서 두 영역의 서비스를 위해 5G RF 중계장치를 반영한 기본 설계이다.

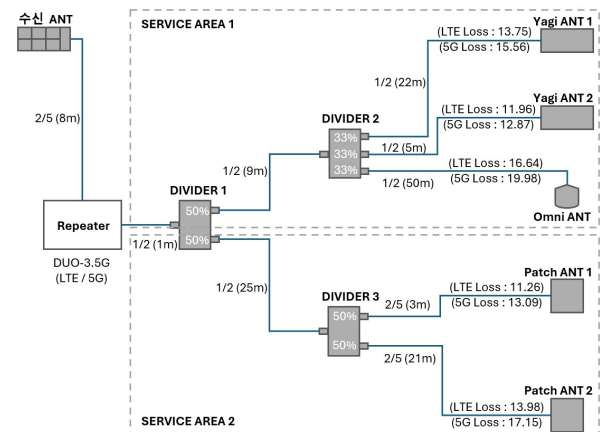


그림 3. 5G RF 중계장치 기본 설계

먼저 매크로 셀의 기지국 RF 신호를 수신 안테나를 통해 수신하고 중계장치까지 급전선(Feeder Cable)으로 연결한다. 중계장치를 통해 증폭된 RF 신호는 안테나까지 급전선 및 분배기를 사용하여 구성한다. 이때 중계장치와 서비스안테나 구간까지 거리 및 분기점에 따라 서비스안테나별로 각기 다른

RF 손실값을 나타낸다. 이 RF 손실을 최소화 하기 위해 중계장치와 분배기, 분배기와 분배기, 분배기와 서비스안테나 구간별로 급전선, 분배기, 서비스 안테나의 타입과 분배율을 차등적으로 적용한다.

5G RF 중계장치 기본 설계의 RF 손실값은 <표 1>과 같다. RF 손실 산출 기준은 제조사에서 제공하는 각 분배기, 급전선, 커넥터 등의 RF 손실 표를 적용한다. 산출 구간은 장비 출력단부터 최종 안테나 전단까지로 하였으며 중계장치 출력과 최종 안테나 이득은 동일 조건으로 하여 산출에서 제외한다. RF 손실 산출 시 주파수대역은 LTE는 1.8GHz, 5G는 3.5GHz의 주파수를 적용한다. 중계장치 출력단에서 최종 안테나 전단까지의 RF 손실 산출 결과 서비스 1영역의 LTE 대역에서는 RF 손실이 11.96dB~16.64dB이고, 5G 대역에서는 12.87dB~19.98dB의 RF 손실 값을 나타낸다. 서비스 2영역의 LTE 대역에서는 RF 손실이 11.26dB~13.98dB이고, 5G 대역에서는 RF 13.09dB~17.15dB이며, 안테나 전 구간의 RF 손실 평균값은 LTE(13.51dB), 5G (15.73dB)를 보인다.

표 1. 5G RF 중계장치 기본 설계 RF 손실 값

구 분	서비스 영역 1						서비스 영역 2					
ANT	Yagi 1		Yagi 2		Omni		Patch 1		Patch 2			
주파수	LTE	3.5G	LTE	3.5G	LTE	3.5G	LTE	3.5G	LTE	3.5G		
급전선 (1)	1m (1/2)											
	0.10	0.16	0.10	0.16	0.10	0.16	0.10	0.16	0.10	0.16		
DIVIDER (1)	50%						50%					
	3.5	3.6	3.5	3.6	3.5	3.6	3.5	3.6	3.5	3.6		
급전선 (2)	9m (1/2)						25m (1/2)					
	0.94	1.42	0.94	1.42	0.94	1.42	2.60	3.95	2.60	3.95		
DIVIDER (2),(3)	33%		33%		33%		50%		50%			
	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	3.5	3.6	3.5	3.6		
급전선 (3)	22m (1/2)		5m (1/2)		50m (1/2)		3m (2/5)		21m (2/5)			
	2.29	3.48	0.52	0.79	5.20	7.90	0.45	0.68	3.17	4.75		
총 커넥터 (개소)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	1.10	1.10	1.10	1.10		
총 손실	13.73	15.56	11.96	12.87	16.64	19.98	11.26	13.09	13.98	17.15		

3.2 수신 안테나 위치 선정과 4가지 유형의 5G RF 중계장치 인프라 설계 방안

본 절은 5G RF 중계장치의 기본 설계를 바탕으로 효과적이고 경제적인 인프라 설계를 위해 다양한

설계유형을 제시한다. 먼저 이상적인 RF 입력확보를 위한 수신 안테나 위치 선정 방안을 제시하고, 중계장치와 서비스안테나 구간의 4가지 설계유형별로 산출된 RF 손실값을 바탕으로 이상적인 인프라 설계 방안을 도출한다.

3.2.1 수신 안테나 위치 선정

최적의 5G RF 중계장치의 서비스 품질을 위해 무엇보다 중요한 요소는 수신 안테나에 입력되는 RF 신호의 품질이다. 일반적으로 수신 안테나 위치는 인접 매크로 기지국들의 위치, RF 입력의 강도, 중계장치 구간의 인프라 구성 등을 육안으로 점검하여 선정한다. 그러므로 매크로 기지국 간의 PCI(Physical Cell Identity) 혼재, RF 입력불량, 입·출력 안테나 간의 주파수 격리도 불량 등의 문제가 발생한다. 이를 개선하기 위해 인접한 매크로 셀의 LOS(Line of Sight)를 확보하고 매크로 기지국의 PCI, RSSI, RSRP, RSRQ 등을 DM 프로그램을 통해 확인한다. 그리고 수신 안테나와 서비스안테나 간의 주파수 격리도 등의 종합적인 품질 지표를 반영해야 한다.

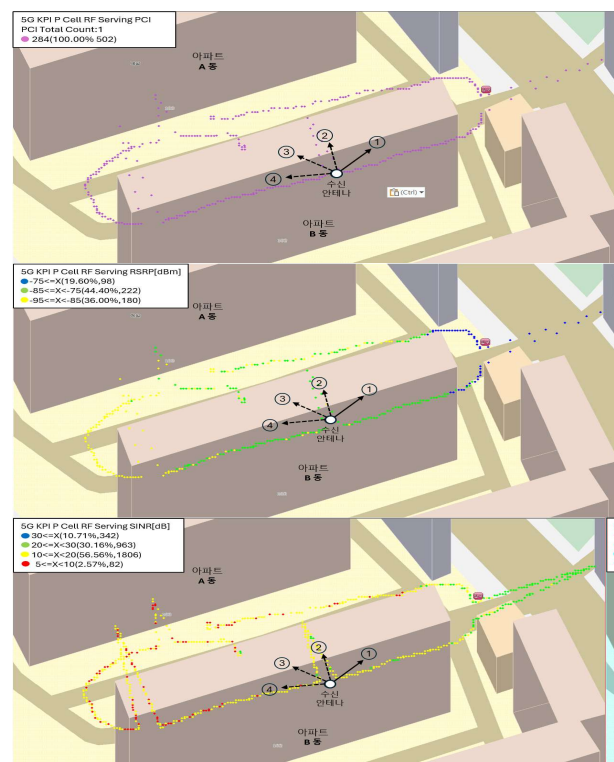


그림 4. DM 품질 지표를 고려한 수신 안테나 위치 선정

수신 안테나 위치 선정을 위한 DM 프로그램상의 PCI, RSRP, SINR 서비스 품질 지표는 [그림 4]와 같다. 각 지표별로 표시된 색은 지표의 임계 범위 설정에 의한 각 위치에서의 서비스 품질의 정도를 나타낸다. 인접한 매크로 기지국의 LOS가 확보된 지역에서 중계장치와 인프라 구성이 가능한 위치를 1차로 선정한다. 그리고 DM의 PCI 정보로 인접 기지국 간의 간섭 여부와 SINR, RSRP 등의 수신 전계의 전파환경 지표를 확인하여 최종 수신 안테나 위치를 선정한다. 매크로 셀과의 LOS와 DM 상의 품질 지표를 고려할 때 1차 선정한 수신 안테나 위치에서 안테나 방향을 ① 번 방향으로 하는 것이 가장 이상적인 것으로 보인다. 마지막으로 중계장치의 수신 안테나와 서비스안테나 간의 주파수 격리도는 서비스안테나에 3.5GHz 대역의 신호를 인가한다. 그리고 수신 안테나로 유입된 인가 신호의 강도를 스펙트럼분석기로 측정한다. 보통 3~6GHz 대역의 주파수 격리도는 17dB 이상 확보해야 하며, 주파수 격리도가 충분히 확보되지 못하면 중계장치에서 발진 현상이 나타나므로 유의한다.

3.2.2 설계유형 1.

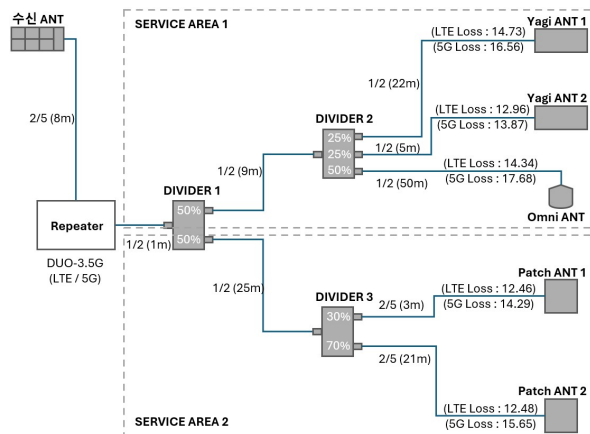


그림 5. 5G RF 중계장치 인프라 설계유형 1

제안하는 5G RF 중계장치의 인프라 설계유형 1은 [그림 5]와 같다. 설계유형 1은 기본적으로 기본 설계에 적용한 각 구간별 급전선 규격 및 케이블 경로는 동일하다. 기본 설계와 다른 점은 중계장치 1대를 사용하여 서비스 영역 1, 2의 인프라를 수용하

기 위해 적용하는 1단계 분배기는 균등 분배기를 사용하고 2단계 분배기는 차등 분배기로 구성한다. 여기서 균등분배기는 입력신호기준 출력포트의 RF 신호 감쇄율이 동일한 수동소자이며, 차등 분배기는 균등 분배기와 반대로 각 포트별로 RF 감쇄율이 차등적으로 적용한 소자이다. 그림으로써 각각의 서비스안테나별로 케이블 길이 및 인프라 구성에 따른 RF 손실의 차이를 일반적으로 균등하게 구성한다.

표 2. 설계유형 1의 RF 손실 값

구 분	서비스 영역 1						서비스 영역 2			
	Yagi 1		Yagi 2		Omni		Patch 1		Patch 2	
주파수	LTE	3.5G	LTE	3.5G	LTE	3.5G	LTE	3.5G	LTE	3.5G
급전선 (1)	1m (1/2)									
	0.10	0.16	0.10	0.16	0.10	0.16	0.10	0.16	0.10	0.16
DIVIDER (1)	50%						50%			
	3.5	3.6	3.5	3.6	3.5	3.6	3.5	3.6	3.5	3.6
급전선 (2)	9m (1/2)						25m (1/2)			
	0.94	1.42	0.94	1.42	0.94	1.42	2.60	3.95	2.60	3.95
DIVIDER (2),(3)	25%		25%		50%		30%		70%	
	7.0	7.0	7.0	7.0	3.7	3.7	4.7	4.8	2.0	2.1
급전선 (3)	22m (1/2)		5m (1/2)		50m (1/2)		3m (2/5)		21m (2/5)	
	2.29	3.48	0.52	0.79	5.20	7.90	0.45	0.68	3.17	4.75
커넥터 (개소)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	1.10	1.10	1.10	1.10
총 손실	14.73	16.56	12.96	13.87	14.34	17.68	12.46	14.29	12.48	15.65
Gap	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	2.30	2.30	-1.20	-1.20	1.50	1.50

제안하는 설계유형 1의 RF 손실값은 <표2>와 같다. 중계장치 출력단을 기준으로 각각 분산된 안테나까지 각 구간별 RF 구간 손실을 계산하고 총 RF 손실로 합산한다. 인프라 설계유형 1의 RF 손실 값은 서비스 영역 1의 LTE 대역에서 RF 손실의 범위는 12.96dB~14.73dB이고, 5G 대역에서 RF 손실의 범위는 13.87dB~17.68dB이다. 서비스 영역 2의 LTE 대역에서 RF 손실의 범위는 12.46dB~12.48dB이고, 5G 대역에서는 RF 손실이 14.29dB~15.65dB이다. 총 RF 손실의 평균값에서는 기본 설계 대비 LTE는 13.39dB(0.88%), 5G는 15.61dB(0.76%) 감소함을 보인다.

3.2.3 설계유형 2.

제안하는 설계유형 2는 [그림 6]과 같다. 설계유형 2 역시 중계장치와 분배기, 안테나 단의 구성요소는

동일하다. 기본 설계와 다른 점은 중계장치 1대를 사용하여 서비스 영역 1, 2의 인프라를 수용하기 위해 적용하는 1, 2단계 분배기를 모두 차등 분배기로 사용하여 분배율을 고려하여 인프라를 구성한다. 그림으로써 원거리 및 RF 손실이 많은 인프라 구간의 RF 손실을 1단계 분배기 단계부터 차등적으로 적용하여 각각의 서비스안테나별 RF 손실을 균등하게 적용한 것이다.

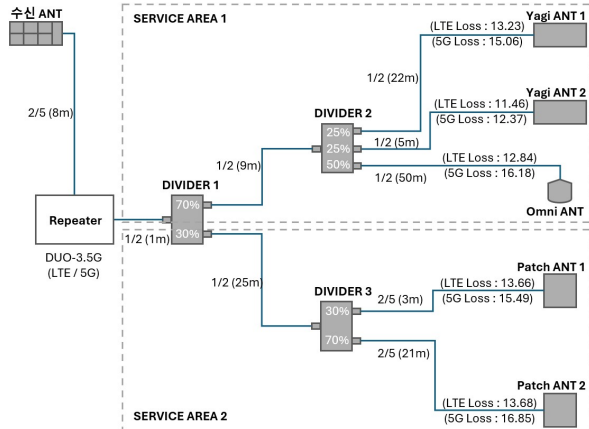


그림 6. 5G RF 중계장치 인프라 설계유형 2

제안하는 5G RF 중계장치 인프라 설계유형 2의 RF 손실값은 <표3>와 같다. 인프라 설계유형 2의 RF 손실은 서비스 영역 1의 LTE 대역에서 RF 손실의 범위는 11.46dB~13.23dB이고, 5G 대역에서 RF 손실의 범위는 12.37dB~16.18dB이다.

표 3. 설계유형 2의 RF 손실 값

구 분	서비스 영역 1						서비스 영역 2			
ANT	Yagi 1		Yagi 2		Omni		Patch 1		Patch 2	
주파수	LTE	3.5G	LTE	3.5G	LTE	3.5G	LTE	3.5G	LTE	3.5G
급전선 (1)	1m (1/2)									
	0.10	0.16	0.10	0.16	0.10	0.16	0.10	0.16	0.10	0.16
DIVIDER (1)	70%						30%			
	2.0	2.1	2.0	2.1	2.0	2.1	4.7	4.8	4.7	4.8
급전선 (2)	9m (1/2)						25m (1/2)			
	0.94	1.42	0.94	1.42	0.94	1.42	2.60	3.95	2.60	3.95
DIVIDER (2),(3)	25%		25%		50%		30%		70%	
	7.0	7.0	7.0	7.0	3.7	3.7	4.7	4.8	2.0	2.1
급전선 (3)	22m (1/2)		5m (1/2)		50m (1/2)		3m (2/5)		21m (2/5)	
	2.29	3.48	0.52	0.79	5.20	7.90	0.45	0.68	3.17	4.75
커넥터 (개소)	6		6		6		6		6	
	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	1.10	1.10	1.10	1.10
총 손실	13.23	15.06	11.46	12.37	12.84	16.18	13.66	15.49	13.68	16.85
Gap	0.50	0.50	0.50	0.50	3.80	3.80	-2.40	-2.40	0.30	0.30

서비스 영역 2의 LTE 대역에서 RF 손실의 범위는 13.66dB~13.68dB이고, 5G 대역에서 RF 손실의 범위는 15.49dB~16.85dB이다.

총 RF 손실의 평균값에서는 기본 설계 대비 LTE는 12.97dB(3.99%), 5G는 15.19dB(3.43%) 감소함을 보인다. 무엇보다 서비스 영역이 구분되는 1단계 분배기 단계에서 차등적 분배율을 적용함으로써 기본 설계 및 설계유형 1보다 높은 RF 감소율을 보이는 것으로 분석한다.

3.2.4 설계유형 3.

제안하는 설계유형 3은 [그림 7]과 같다. 설계유형 3 역시 중계장치 및 인프라 구성 단계를 기본 설계와 동일하게 구성한다. 기본 설계와 다른 점은 중계장치 출력단에서 1단계 분배기 대신 양방향 커플러 (Coupler)를 적용하고, 2단계 분배기는 차등 분배기를 적용한다. 양방향 커플러는 정방향 RF 신호에 대해서는 RF 손실 없이 신호를 바이패스하며, 커플링 손실(-7dB) 포트에서는 정·역방향 RF 신호 모두 커플링 손실(-7dB)을 반영하여 신호를 전송한다.

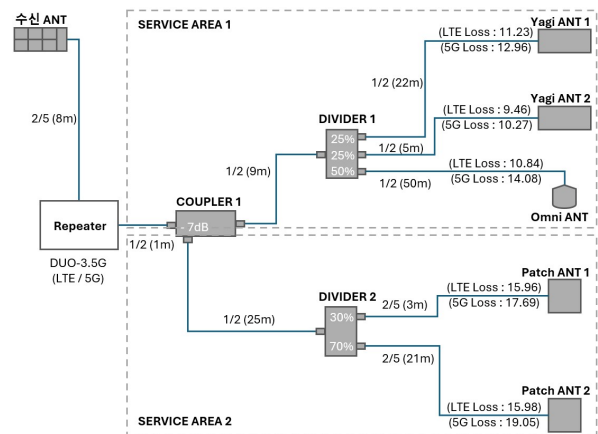


그림 7. 5G RF 중계장치 인프라 설계유형 3

제안하는 5G RF 중계장치 인프라 설계유형 3의 RF 손실값은 <표4>와 같다. 인프라 설계유형 3의 RF 손실 산출 결과 서비스 영역 1의 LTE 대역에서는 RF 손실의 범위는 9.46dB~11.23dB이고, 5G 대역에서 RF 손실의 범위는 10.27dB~14.08dB이다. 서비스 영역 2의 LTE 대역에서 RF 손실의 범위는

15.96dB~15.98dB이고, 5G 대역에서 RF 손실의 범위는 17.69dB~19.05dB이다. 총 RF 손실의 평균 값에서는 기본 설계 대비 LTE는 12.69dB(6.06%), 5G는 14.81dB(5.84%) 감소함을 보인다. 무엇보다 1, 2단계 분배 단계에서 원, 근거리 안테나의 RF 손실을 고려하여 양방향 커플러와 차등 분배기를 적절로 적용함으로써, 근거리 안테나 구간은 RF 손실을 작게 구현하고, 원거리 구간은 최소 RF 손실 값으로 인프라 구성이 가능하다. 따라서 기본 설계 및 설계유형 1, 2 대비 더욱 작고 균등한 RF 손실을 보인다.

표 4. 설계유형 3의 RF 손실 값

구분	서비스 영역 1						서비스 영역 2			
ANT	Yagi 1		Yagi 2		Omni		Patch 1		Patch 2	
주파수	LTE	3.5G	LTE	3.5G	LTE	3.5G	LTE	3.5G	LTE	3.5G
급전선 (1)	1m (1/2)									
	0.10	0.16	0.10	0.16	0.10	0.16	0.10	0.16	0.10	0.16
COUPLER (1)	Bypass						-7dB			
							7.0	7.0	7.0	7.0
급전선 (2)	9m (1/2)						25m (1/2)			
	0.94	1.42	0.94	1.42	0.94	1.42	2.60	3.95	2.60	3.95
DIVIDER (1),(2)	25%		25%		50%		30%		70%	
	7.0	7.0	7.0	7.0	3.7	3.7	4.7	4.8	2.0	2.1
급전선 (3)	22m (1/2)		5m (1/2)		50m (1/2)		3m (2/5)		21m (2/5)	
	2.29	3.48	0.52	0.79	5.20	7.90	0.45	0.68	3.17	4.75
커넥터 (개소)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	1.10	1.10	1.10	1.10
총 손실	11.23	12.96	9.46	10.27	10.84	14.08	15.96	17.69	15.98	19.05
Gap	2.50	2.60	2.50	2.60	5.80	5.90	-4.70	-4.60	-2.00	-1.90

른 점은 중계장치 출력단에서 1단계 분배기와 2단계 장거리 구간의 분배기 단을 양방향 커플러 (Coupler)로 대체하여 적용한 것이다. 이 구성 방식은 1, 2단계 분배기 단을 모두 양방향 커플러를 적용함으로써 중계장치 출력단에서 가장 원거리에 위치한 특정 서비스안테나까지 RF 손실을 최소화하여 신호 전송이 가능한 구조이다. 하지만 상대적으로 다른 안테나 구간은 기본 커플링 RF 손실이 반영되어 손실이 증가한다.

표 5. 설계유형 4의 RF 손실 값

구분	서비스 영역 1						서비스 영역 2			
ANT	Yagi 1		Yagi 2		Omni		Patch 1		Patch 2	
주파수	LTE	3.5G	LTE	3.5G	LTE	3.5G	LTE	3.5G	LTE	3.5G
급전선 (1)	1m (1/2)									
	0.10	0.16	0.10	0.16	0.10	0.16	0.10	0.16	0.10	0.16
COUPLER (1)	Bypass						-7dB			
							7.0	7.0	7.0	7.0
급전선 (2)	9m (1/2)						25m (1/2)			
	0.94	1.42	0.94	1.42	0.94	1.42	2.60	3.95	2.60	3.95
COUPLER (2) DIVIDER (1)	-7dB				Bypass		30%		70%	
	7.0	7.0	7.0	7.0			4.7	4.8	2.0	2.1
급전선 (3)	23m (1/2)		6m (1/2)		50m (1/2)		3m (2/5)		21m (2/5)	
	2.39	3.63	0.62	0.95	5.20	7.90	0.45	0.68	3.17	4.75
DIVIDER (2)	70%		30%		Bypass		Bypass			
	2.0	2.1	6.0	6.1						
커넥터 (개소)	8	8	8	8	6	6	6	6	6	6
	1.20	1.20	1.20	1.20	0.90	0.90	1.10	1.10	1.10	1.10
총 손실	13.63	15.51	15.86	16.83	7.14	10.38	15.96	17.69	15.98	19.05
Gap	0.10	0.04	-3.90	-3.96	9.50	9.60	-4.70	-4.60	-2.00	-1.90

3.2.5 설계유형 4.

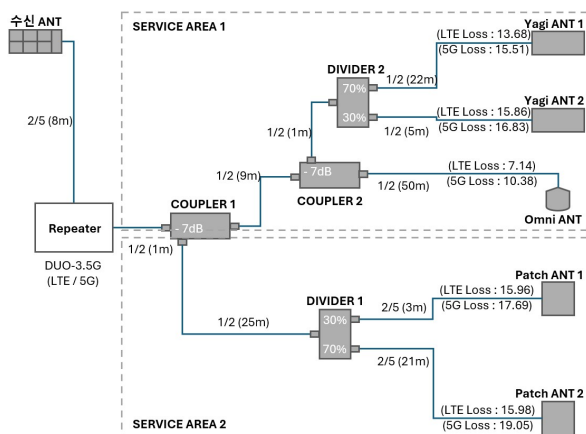


그림 8. 5G RF 중계장치 인프라 설계유형 4

제안하는 설계유형 4는 [그림 8]과 같다. 인프라 구성 단계는 기본 설계와 동일하며, 기본 설계와 다

제안하는 5G RF 중계장치 인프라 설계유형 4의 RF 손실값은 <표5>와 같다. 인프라 설계유형 4의 RF 손실 산출 결과 서비스 영역 1의 LTE 대역에서 RF 손실의 범위는 7.14dB~15.86dB이고, 5G 대역에서 RF 손실의 범위는 10.38dB~16.83dB이다. 서비스 영역 2의 LTE 대역에서 RF 손실의 범위는 15.96dB~15.98dB이고, 5G 대역에서는 RF 손실의 범위는 17.69dB~19.05dB이다. 총 RF 손실의 평균 값에서 기본 설계 대비 LTE는 13.71dB(-1.49%), 5G는 15.89dB(-1.04%) 감소함을 보인다. 이 방식은 원거리의 특정 안테나에 RF 손실의 최소화는 가능하나 다른 안테나 구간은 기본 커플링 손실(-7dB)이 증가하여 안테나별로 RF 손실 차이가 크게 나타난다.

IV. 설계유형별 RF 손실과 서비스 품질 분석 평가

4.1 설계유형별 RF 손실 결과

제안하는 5G RF 중계장치 인프라 설계유형별 RF 손실 결과 데이터는 <표6>와 같다. 결과 데이터에서 알 수 있듯이 제안하는 설계유형에서 각 분배단에 양방향 커플러와 차등 분배기를 적용한 설계유형 3이 RF 손실 감소율에서 가장 좋은 결과를 보인다. 설계유형 3은 기본 설계 대비 장비 출력단에서 각 안테나 단까지 구간 손실의 차이(Gap)를 명기하였으며 3장에서 언급한 것과 같이 LTE는 12.69dB(6.06%), 5G는 14.81dB(5.84%)로 RF 손실이 감소함을 보인다.

표 6. 설계유형별 RF 손실 값

구 분		설계 유형	기본 설계	유형 1	유형 2	유형 3		유형 4
						RF 손실값	Gap	
서비스 영역 1	Yaqi 1	LTE	13.73	14.73	13.23	11.23	2.5	13.63
		5G	15.56	16.56	15.06	12.96	2.6	15.51
	Yaqi 2	LTE	11.96	12.96	11.46	9.46	2.5	15.86
		5G	12.87	13.87	12.37	10.27	2.6	16.83
	Omni	LTE	16.64	14.34	12.84	10.84	5.8	7.14
		5G	19.98	17.68	16.18	14.08	5.9	10.38
서비스 영역 2	Patch 1	LTE	11.26	12.46	13.66	15.96	-4.7	15.96
		5G	13.09	14.29	15.49	17.69	-4.6	17.69
	Patch 2	LTE	13.98	12.48	13.68	15.98	-2.0	15.98
		5G	17.15	15.65	16.85	19.05	-1.9	19.05

기본 설계 대비 각 설계유형별로 분석한 RF 손실 값을 기반으로 실제 서비스 측면에서 어떠한 연계성이 있는지를 DM 측정을 통해 분석한다. 여기서 RF 손실은 즉, 경로 손실을 의미한다고 할 수 있으며, RF 손실의 크고 작음에 따라 LTE 및 5G 서비스의 각종 품질 지표에도 영향이 있는지 분석하며 실시간 데이터에 따른 평균값으로 비교 및 분석한다.

4.2 설계유형별 서비스 품질 측정

설계유형별 5G, LTE(4G) 서비스 품질을 측정하기 위한 장치의 제원은 <표7>와 같다. 해당 제원을 통하여 기본 설계 대비 4가지 인프라 설계유형을 구현한다. 그리고 5G RF 중계장치의 인프라 설계유형

별 서비스 품질 측정은 DM 프로그램을 사용한다. 인프라 구성 유형별로 중계장치에서 서비스 안테나 구간의 RF 손실 대비 DM 측정 결과의 연계성 및 서비스 품질을 비교 및 분석하여 최종 결과를 도출한다.

표 7. 서비스 품질 측정을 위한 장치의 제원

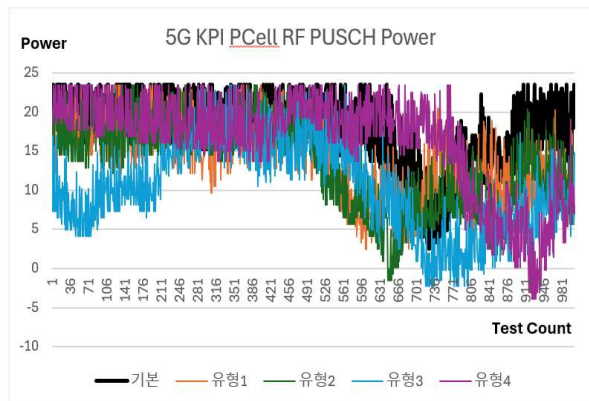
구 분	품 명	규 격	비 고
계측기	Spectrum Analyzer	MS2090A [Anritsu]	*측정 대역: 9KHz~32GHz *평균측정시간:6분
5G/LTE(4G) 품질측정	Diagnostic Monitoring	OPTis-S4 [innomwireless]	*측정버전: OPTis-S4 03.6.4.332N
분배율	1:2 Divider	* 분배율 : 50:50, 30:70	*주파수 대역: 814~960, 1710~1870, 1885~2170, 2300~2400, 2500~2690, 3350~3900MHz
	1:3 Divider	* 분배율 : 33:33:33, 25:25:50	
커플러	1:3 Coupler	* Coupler 손실: -7dB	
안테나	Donor / Service ANT	* Yagi, Omni ANT: 6/8/10 dBi	
단말기	DM 단말기	SM-S908N [S22 Ultra]	*DM측정 케이블 포함

4.2.1 5G 서비스 품질측정

DM 프로그램을 사용한 5G 서비스의 대표적인 품질 지표는 이동단말에서 매크로 셀로 보내는 UCI, HARQ-Ack 정보인 PUCCH와, 이동단말의 사용자 데이터와 UCI 정보를 매크로 셀에 전송하는 PUSCH의 품질을 측정한다. DM 측정의 조건을 동일하게 하기 위해 측정 구간(Test Count 1000개) 및 1개의 호(Call)를 설정하여 그래프로 표현한다. 그리고 설계유형별로 RF 손실 대비 DM 측정 결과를 확인하여 품질 변화를 분석한다. 측정 시 이동단말 전송 횟수(Test Count)는 1개의 호(Call)를 기준으로 하더라도 이동단말의 품질 지표에 따라 동작 횟수가 다르게 나타난다.

5G KPI(Key Performance Indicator) PCell(Primary Cell) RF PUSCH Power의 DM 측정 결과는 [그림 9]과 같다. PUSCH에 대한 Resource 들은 업 링크의 UL-Scheduler에 의해 Sub-frame에 기초하여 할당한다. 이때 이동단말은 Sub-frame에 대한 이동단말의 송신 출력을 체크한다. 경로 손실(RF 손실 포함)이 크면 이동단말의 출력을 크게하고, 경로손실이 작으면 상대적으로 출력

을 작게 하면서 PUSCH Power를 제어한다. 전체 구간의 DM 측정 결과 최대값(23.5dBm), 최소값(-22.5~-7.1dBm), 평균값(4.99~19.02dBm)을 보인다.결과 데이터에서 설계유형1, 2는 특정 구간을 제외하고 대다수 영역에서 이동단말 출력이 높게 나타난다. 그리고 설계유형 4는 측정 전 구간에서 출력의 최대/최소 변동 폭이 크게 나타난다. 측정 결과에서 설계유형 3은 기본설계 대비 PUSCH Power를 평균 30.15%의 적은 전력으로 매크로 셀과 통신이 가능함을 의미한다.

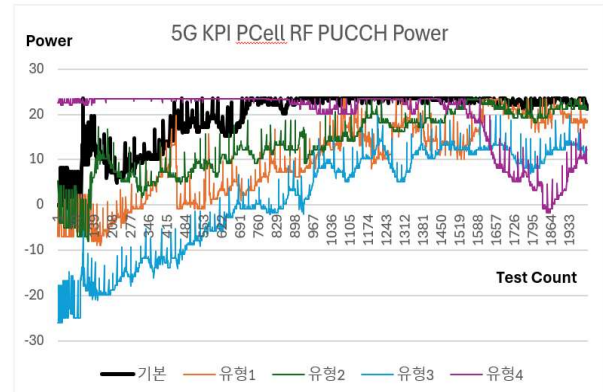


구분		기본 설계	설계유형			
			1	2	3	4
DM 측정 결과 [dBm]	Test Count	11087	10097	12232	10407	10730
	Maximum	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5
	Minimum	-20.1	-17.1	-15.7	-7.1	-22.5
	Max/Min Gap	43.6	40.6	39.2	30.6	46
	Average	16.55	13.29	11.98	4.99	19.02
기본 설계 대비 Gap		-	3.26	4.57	11.56	-2.47

그림 9. 5G KPI PCell RF PUSCH Power DM 측정 결과

5G KPI PCell RF PUSCH Power의 DM 측정 결과는 [그림 10]와 같다. PUSCH Power는 HARQ의 ACK 신호, Channel state에 대한 Report, Uplink Scheduling 요청 신호를 전송한다. PUSCH Power 역시 제어 채널로서 경로 손실이 크면 출력을 크게하고, 경로 손실이 작으면 출력을 적게 송출한다. 전체 구간의 DM 측정 결과 최대값은(23.5dBm), 최소값은(-26~-1.0dBm), 평균값은(1.12~20.49dBm)을 보인다. 결과 데이터에서 설계 유형 1, 2는 측정 전 구간의 대부분 영역에서 높은 출력값을 보인다. 설계유형 4는 PUSCH Power와

같이 측정 전 구간에서 최대/최소 변동 폭이 크게 나타난다. 측정 결과에서 설계유형 3은 기본 설계 대비 PUSCH Power를 평균 6.95%의 적은 전력으로 매크로 셀과 통신이 가능함을 보인다.



구분		기본 설계	설계유형			
			1	2	3	4
DM 측정 결과 [dBm]	Test Count	19618	17926	20510	20107	21324
	Maximum	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5
	Minimum	-15	-9	-8	-1	-26
	Max/Min Gap	38.5	32.5	31.5	24.5	49.5
	Average	16.12	13.45	9.65	1.12	20.49
기본 설계 대비 Gap		-	2.67	6.47	15	-4.37

그림 10. 5G KPI PCell RF PUSCH Power DM측정 결과

4.2.2 LTE(4G) 서비스 품질측정

앞서 설명한 바와 같이 현재의 5G 서비스는 LTE(4G) 기반의 서비스 의존도가 높고 서비스 품질 지표 역시 밀접한 연관성을 갖는다. 5G 서비스와 연계한 LTE(4G) 서비스의 품질 지표는 이동단말의 송·수신 전파환경을 나타내는 지표인 RSRP, SINR, Tx Power(dBm)를 측정하며, DM 프로그램을 사용하여 서비스 품질을 확인하고 도출된 결과를 비교 및 분석한다.

LTE KPI PCell Serving RSRP의 DM 측정 결과는 [그림 11]와 같다. RSRP는 이동단말이 수신한 매크로 셀 기지국 신호의 세기를 의미하며 높은 값일수록 기지국에 근접함을 의미하며 -100dBm 이하 시 통화품질이 급격히 떨어진다. 전체 구간의 DM 측정 결과로 최대값(-70.75~-63.02dBm), 최소값(-104.3~-97.62dBm), 평균값(-87.39~

-80.66dBm)을 보인다. 측정 결과에서 설계유형 3은 기본 설계 대비 RSRP 평균값에서 약 5.06% 개선되었으며, 이는 이동단말에서 수신하는 매크로 셀의 신호 세기가 그만큼 개선되었음을 의미한다.

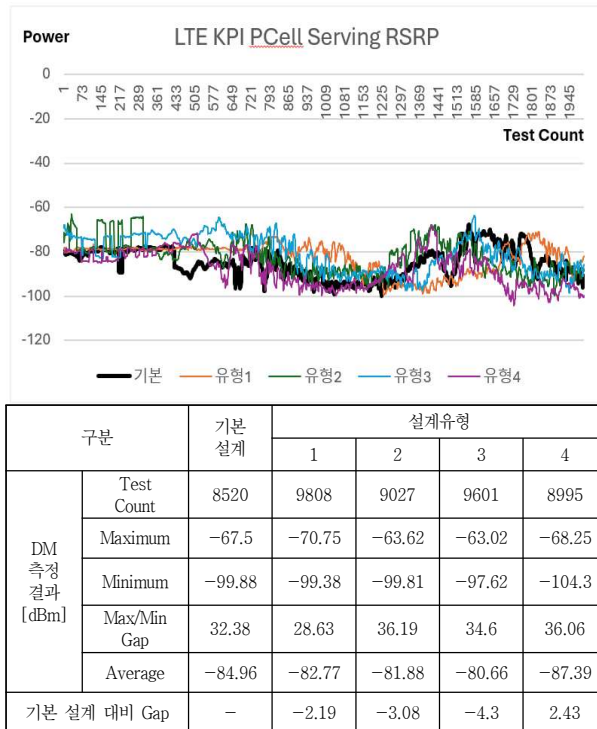


그림 11. LTE KPI PCell Serving RSRP DM측정 결과

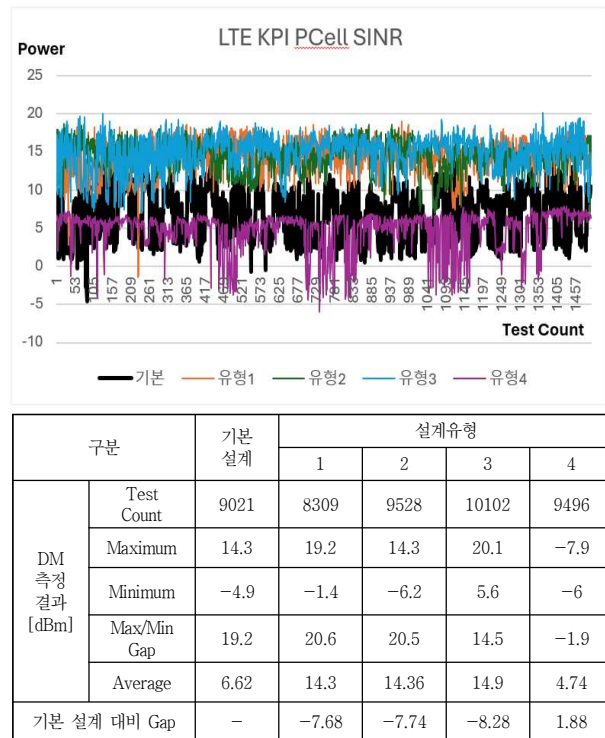


그림 12. LTE KPI PCell SINR DM측정 결과
LTE KPI PCell SINR의 DM 측정 결과는 [그림

12]와 같다. SINR는 최대값이 +30dBm이며, +30dBm에 가까울수록 기지국이 근처에 위치하고 신호 상태가 매우 좋음을 나타낸다. 전체 구간의 DM 측정 결과로 최대값(-7.9~20.1dBm), 최소값(-6~-5.6dBm), 평균값(4.74~14.9dBm)을 보인다. 측정 결과에서 설계유형 3은 기본 설계 대비 SINR 값이 약 125% 개선되었으며, 이는 이동단말에서 수신하는 매크로 셀 신호의 상태 즉, 신호대 간섭신호 및 노이즈의 비율이 개선되었음을 의미한다.

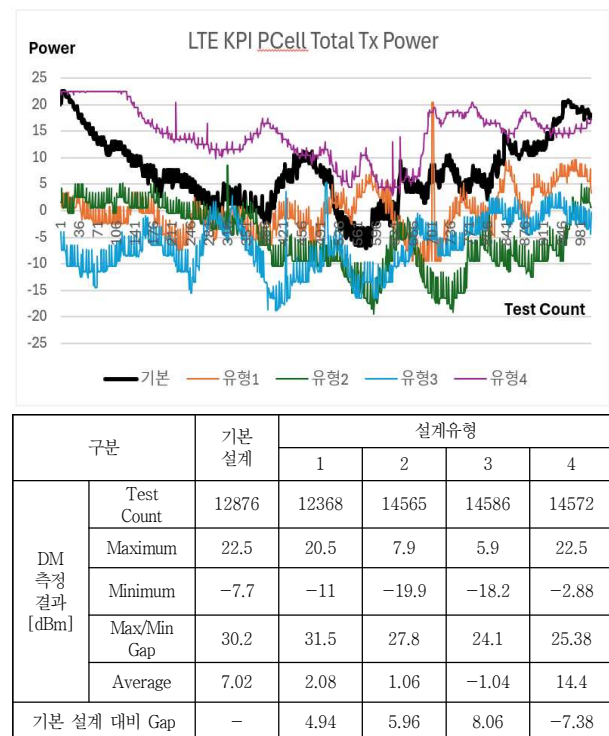


그림 13. LTE KPI PCell Total Tx Power DM측정 결과

LTE KPI PCell Total Tx Power의 DM 측정 결과는 [그림 13]와 같다. Tx Power 역시 경로 손실 기반으로 동작하며, 이것은 RSRP와 직접적인 연관이 있다. 보통 강 전계에서는 초기 Tx Power를 -21dBm을 송출한다. 약 전계에서는 9dBm부터 점차 출력을 올리며, 최종 이동단말에서 수신되는 RSRP값에 따라 최대 Tx Power는 23dBm까지 송출하게 한다. 전체 측정 구간의 DM 측정 결과 최대값(5.9~22.5dBm), 최소값(-19.9~-2.88dBm), 평균값(-7.04~14.4dBm)을 보인다.

결과 데이터에서 설계유형 4와 기본 설계 방식은

측정 전 구간에서 높은 Tx Power를 유지하고 높은 변동 폭을 보였다. 설계유형 1, 2는 전반적으로 낮은 Tx Power를 보였으나 일정 구간에서 높은 진폭의 출력 형태를 보인다. 측정 결과에서 설계유형 3은 기본 설계 대비 Tx Power 평균값에서 약 114% 개선되었으며, 이는 5G의 PUSCH/PUCCH Power처럼 측정 전 구간에서 이동단말이 적은 전력으로 매크로 셀과의 통신이 가능함을 의미한다.

지금까지 소규모 폐쇄 환경에서 기본 설계 방식을 기준으로 각 설계유형의 RF 손실값 대비 DM 프로그램상의 서비스 품질 지표를 분석했다. 결과적으로 주어진 설계 환경에서 중계장치에서 서비스안테나 구간의 분배단과 급전선, 양방향 커플러 등의 다양한 설계 요소를 RF 손실값에 따라 차등적으로 반영한 설계유형 3이 기본 설계 대비 측정 전 구간에서 가장 작은 RF 손실과 LTE 및 5G 서비스의 다양한 품질 지표 역시 안정적이고 양호한 결과 데이터를 보인다.

V. 결 론

본 논문은 소규모 폐쇄 환경에서 5G RF 중계장치의 수신 안테나 위치 선정과 인프라 설계유형에 따른 효과적인 이동통신 품질개선 방안을 제안하고 있다. 먼저 PCI 정보, DM 품질 지표, 중계장치 구간의 인프라 구성을 고려하여 이상적인 수신 안테나 위치를 선정하였다. 결과 검증을 위해 5G RF 중계장치의 일반적인 기본 설계 대비 다양한 설계 요소를 반영한 4가지 인프라 설계유형을 제시하고, 중계장치 출력단에서 여러 위치에 분산되어 있는 서비스 안테나까지 RF 손실 값을 계산하였다. 그리고 각 유형별로 총 RF 손실 값이 서비스 품질 지표에 미치는 영향에 대해 DM 프로그램을 사용하여 분석하였다. 측정 결과 설계유형 3이 기본 설계 대비 총 RF 손실의 평균값에서 LTE는 12.69dB(6.06%), 5G는 14.81dB(5.84%) 감소하였다. 이를 기반으로 서비스 품질을 측정한 결과 5G의 PUSCH Power는 평균 30.15%, PUCCH Power는 평균 6.95% 개선되었으며, LTE 지표인 RSRP는 평균 5.06%,

SINR은 평균 125%, Tx Power는 평균 114% 개선됨을 보였다. 따라서 동일한 설계 여건에서도 중계장치, 급전선, 안테나, 분배기, 커플러 등을 고려한 설계 방식에 따라 보다 효율적이고 양호한 서비스 품질이 가능하다.

향후 연구에서는 5G, LTE(4G) 매크로 셀과 인빌딩 서비스 목적인 DAS 장비와의 주파수 격리도(isolation) 영향에 따른 이동통신 서비스 품질 변화를 연구할 예정이다.

REFERENCES

- [1] Effects of Building Materials and Structures on Radiowave Propagation above about 100 MHz, Recommendation ITU-R P.2040-2, Sep. 2021.
- [2] Prediction of Building Entry Loss, Recommendation ITUR P.2109-1, Aug. 2019.
- [3] Propagation Data and Prediction Methods for the Planning of Indoor Radiocommunication Systems and Radio Local Area Networks in the Frequency Range 300 MHz to 450 GHz, Recommendation ITU-R P.1238-11, Sep. 2021.
- [4] Propagation Data and Prediction Methods for the Planning of Short-Range Outdoor Radiocommunication Systems and Radio Local Area Networks in the Frequency Range 300 MHz to 100 GHz, Recommendation ITU-R P.1411-11, Sep. 2021.
- [5] 정우기, "5G 이동통신 서비스를 위한 효율적인 5G 망구축 방안"에 관한 연구, 한국전자과학회논문지, 제29권, 제5호, 353-358쪽 2018년 5월
- [6] 김현채, 오혁준 "5G 이동통신 네트워크에서의 분산 안테나 시스템(DAS)기술," 한국통신학회, 제34권, 제 7호, 48-53쪽, 2017년 6월
- [7] 오동한, 한덕수, 이준석 "미래 대대급 전술 네트워크 구축을 위한 5G 기반 네트워크 활용방안," 디지털콘텐츠학회논문지, 537-545쪽, 2021년 3월
- [8] 민경옥, 이승호 "5G 광중계기 구동을 위한 디지털 송수신 유닛 설계," 한국전기전자학회, 제25권, 제1호, 156-167쪽, 2021년 3월
- [9] 소민석, 오왕록 "낮은 복잡도의 5G NR PSS 검출 기법," 한국통신학회, 제45권 제4호, 652-656쪽, 2020년
- [10] 설성호, "이동통신 전파자원의 효율적인 배분과 이용을 위한 할당정책에 대한 연구," 한양대학교 경영학과 박사학위논문, 2023년 02월
- [11] 장원, 김동우, 조병록, 오순수 "이음5G 4.7GHz 대역에서 건물간 전달손실 측정 및 분석," 한국전자과학회, 제34권 제7호, 534-540쪽, 2023년 7월

- [12] 소민석, “5G NR시스템의 동기 획득 기법 개선방안 연구,” *충남대학교 대학원 전자전파정보통신공학과 석사학위논문*, 2021년 02월
- [13] 임재우, “5G 무선설비 RF 기술기준 및 시험방법,” *한국전자파학회지*, 제29권 제6호, 19-25쪽, 2018년 11월
- [14] 임병철, 정기범, 정연춘, “이동 통신 중계기 설치를 통한 승강기 시스템의 전자파 환경 개선,” *한국전자파학회지*, 제22권 제11호, 1125-1131쪽, 2011년 11월

저 자 소 개



김영진(정회원)

2021년 전북대학교 정보보호공학과 석사 졸업.

2023년 전북대학교 IT응용시스템공학과 박사과정.

<주관심분야 : AI, Mobile Telecommunication, Infosec>



김형진(정회원)

1999년 군산대학교 정보통신공학과 석사 졸업.

2004년 군산대학교 정보통신공학과 박사 졸업.

<주관심분야 : Wireless Sensor and Ad hoc Network, IoT, Smart City, Multimedia System, AI>