

# 이동형 OTA 기반 전파 측정 시스템의 운영 결과 분석 및 무선국 검사 활용 가능성 연구

## Analysis of Operational Results of Mobile OTA-Based Radio Measurement System and Its Applicability to Wireless Station Inspection

손영수<sup>1</sup> · 최인태<sup>2</sup> · 박종진<sup>3</sup> · 추경곤<sup>4</sup> · 김승준<sup>5</sup> · 임동균<sup>6</sup> · 고병휘<sup>7</sup>

Young-Su Son<sup>1</sup> · In-Tae Choi<sup>2</sup> · Jong-Jin Park<sup>3</sup> · Gyeong-Gon Choo<sup>4</sup> · Seung-Jun Kim<sup>5</sup> ·  
Dong-Kyun Lim<sup>6</sup> · Byung-Hwi Ko<sup>7</sup>

### 요 약

본 연구는 차량 주행 중 무선국 신호를 실시간으로 측정하는 이동형 OTA 기반 전파 측정 시스템을 실제 환경에 적용하고, 그 운영 결과를 분석하여 무선국 검사 업무로의 활용 가능성을 검토하였다. 서울시 도심 및 주요 도로 구간에서 5G NR FR1 대역을 대상으로 대규모 전파 데이터를 수집한 결과, 이동형 측정 방식은 실제 이용 환경에서의 전파 특성을 효과적으로 반영하고, 무선국의 잠재적 이상 징후를 민감하게 탐지할 수 있음을 확인하였다. 본 연구는 이동형 OTA 측정 방식이 기존 무선국 검사 체계를 보완하는 효율적인 검사 수단으로 활용될 수 있음을 시사한다.

### Abstract

This study evaluates a mobile over-the-air (OTA)-based radio measurement system operated during vehicle driving, and examines its applicability to wireless station inspection. Large-scale measurement data for 5G NR FR1 base stations were collected in urban and road environments, demonstrating that mobile measurements effectively reflect real radio propagation characteristics and sensitively detect potential abnormalities. These results indicate that mobile OTA-based measurements can serve as an efficient complementary approach to conventional wireless station inspections.

Key words: Mobile Over-The-Air Measurement, 5G NR FR1, Radio Inspection, Spectrum Emission Analysis, 5G NR Base Station

### I. 서 론

무선국 검사 업무는 전파 이용의 적합성과 이동통신

서비스 품질을 확보하기 위한 핵심적인 관리 수단으로, 그동안 장비와 계측기 직결 측정 방식을 중심으로 수행됐다. 그러나 이동통신망의 고도화와 함께 무선국 설치

「이 연구는 한국방송통신전파진흥원의 지원으로 연구되었음.」

한국방송통신전파진흥원 전파기반본부(Korea Communications Agency, Radio Infrastructure Bureau)

1: 과장(<https://orcid.org/0009-0004-6042-6836>), 2: 팀장(<https://orcid.org/0009-0005-5066-2840>), 3: 차장(<https://orcid.org/0009-0003-9815-7873>),

4: 과장(<https://orcid.org/0009-0006-3210-7920>), 5: 과장(<https://orcid.org/0009-0005-5483-5921>), 6: 과장(<https://orcid.org/0009-0002-6971-2818>),

7: 대리(<https://orcid.org/0009-0009-7525-8405>)

· Manuscript received January 7, 2026 ; Revised February 2, 2026 ; Accepted February 13, 2026. (ID No. 20260107-10S)

· Corresponding Author: Young-Su Son (e-mail: [sy0614@kca.kr](mailto:sy0614@kca.kr))

환경이 다양화되면서, 통신주, 강관주, 옥탑 등 접근이 곤란한 장소에서의 검사가 증가하였으며, 이에 따라 검사 효율성과 작업 안정성 측면에서의 한계가 지속적으로 제기되어왔다. 특히 5G NR 도입 이후 안테나와 기지국이 환경에서의 전파 특성을 충분히 반영하기 어렵다는 문제가 나타났다.

이러한 배경에서 본 연구는 차량 주행 중 무선국 신호를 실시간으로 측정·검사하는 이동형 OTA(over-the-air) 기반 전파 측정 시스템을 실제 환경에 적용하고, 그 운영 결과를 분석함으로써 이동형 전파 측정 방식의 실효성과 무선국 검사 업무로의 활용 가능성을 검토하고자 하였다. 본 연구의 목적은 이동 중 측정을 통해 대규모 전파 데이터를 확보하고, 수신 전계 강도 및 주요 무선국 검사 항목 분석을 통해 기존 무선국 검사 체계의 패러다임을 변화하는 데 있다.

## II. 본 론

### 2.1 이동형 전파 측정 시스템 구성

본 연구에서 적용한 이동형 전파 측정 시스템은 이동 중 무선국 신호를 안정적으로 수신하고, 무선국 검사 항목을 실시간으로 측정·데이터 전송할 수 있도록 구성하였다. 시스템은 RF 스캐너 및 스펙트럼 분석기, GPS 모듈, 이동통신 단말기, 데이터 처리용 컴퓨터로 구성하였다(그림 1).

RF 스캐너 및 스펙트럼 분석기는 LTE 및 5G NR

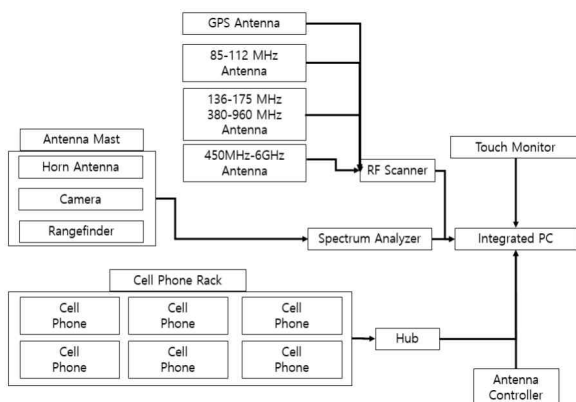


그림 1. 이동형 전파 측정 시스템 구성  
Fig. 1. Configuration of the mobile radio measurement system.

FR1(3.5 GHz) 대역 신호를 대상으로 실시간 스캔 기능을 수행하도록 구성하였다. 이를 통해 검사 대상 무선국의 수신 신호 세기뿐만 아니라, 안테나 공급 전력, 인접 채널 누설 전력비(ACLR), 스펙트럼 방출 마스크(SEM), 주파수 정확도 등의 주요 무선국 검사 항목을 측정하도록 하였다. 해당 측정 항목은 현행 무선설비 기술기준에서 요구하는 핵심 검사 항목으로, 이동형 OTA 방식 적용 가능성을 검증하기에 적합한 지표로 판단하였다.

GPS 모듈은 측정 시점의 위치 정보를 실시간으로 수집하여 전파 측정 데이터와 동기화하도록 구성하였다. 이를 통해 수신 전계 강도의 공간적 분포 분석과 동일 노선 반복 측정 시 결과 비교가 가능하게 했다. 이동통신 단말기는 측정 데이터의 실시간 모니터링, 저장 및 후처리 분석 기능을 수행하도록 구성하였다.

### 2.2 시스템 운영 방법 및 측정 환경

이동형 전파 측정 시스템의 운영 기간은 2025년 4월부터 2025년 12월까지 약 9개월 운영하였다. 운영 지역은 서울시 도심 지역과 주요 고속도로 및 간선도로 구간으로 선정하였으며, 이는 이동통신 트래픽 밀집 지역과 통신주, 강관주 등이 많이 설치된 구간을 분석하기 위함이다.

측정은 차량 주행 중 자동 측정 방식으로 수행하였다. 검사 대상 무선국의 PCI를 기준으로 측정 대상을 식별하였으며, 초당 1회 이상의 주기로 주요 검사 항목을 자동 측정하도록 설정하였다. 이를 통해 기존 삼각대를 설치하여 OTA 측정 방식 대비 단시간 내 대규모 데이터를 확보할 수 있도록 하였다.

측정 과정에서 수집된 모든 데이터는 GPS 좌표와 함께 저장하였으며, 저장된 데이터는 후처리 분석을 통해 통신사별, 지역별, 시간대별 특성 분석에 활용하였다. 특히 동일 노선 반복 주행 시 측정 결과의 변동성을 확인함으로써 이동 환경에서의 측정 안정성을 평가할 수 있도록 하였다.

### 2.3 전파 수신 레벨 측정 결과 분석

이동형 전파 측정을 통해 이동통신 3사의 5G NR FR1 무선국에 대한 대규모 수신 레벨 데이터를 확보하였다.

통신사별 측정 건수는 최소 약 9만 건 이상으로, 이동형 측정 방식이 단기간에 대량의 전파 자료를 수집할 수 있음을 확인하였다.

측정 결과, 통신사별 평균 수신 레벨은 약  $-105$  dBm에서  $-113$  dBm 범위로 나타났으며, 최소 수신 레벨은  $-149$  dBm 수준으로 확인되었다. 이러한 결과는 이동 환경에서 수신 전계 강도가 매우 넓은 범위로 분포함을 의미하며, 이는 고정 지점 측정에서는 관찰하기 어려운 특성이다.

GPS 연동 데이터를 전파 분포 특성을 분석한 결과, 도심 밀집 지역에서는 건물 차폐 및 다중경로 영향으로 인해 수신 전계 강도의 급격한 변동이 빈번히 발생하였다. 특히 고층 건물 밀집 지역에서는 동일 무선국 신호에 대해서도 위치에 따라 수신 레벨 편차가 크게 나타났다. 반면, 고속도로 및 개방된 도로 구간에서는 비교적 안정적인 수신 특성이 관찰되었으며, 이는 주변 차폐 요소에 따른 영향으로 판단된다.

이러한 분석 결과를 통해 이동형 전파 측정 방식은 실제 이용 환경에서의 전파 특성을 공간적으로 분석하는데 효과적인 수단임을 확인하였다(그림 2).

### 2.4 무선국 검사 항목 측정 결과 분석

이동형 OTA 방식으로 무선국 검사 항목을 측정한 결과, 검사 대상 무선국에 대해 안테나 공급 전력, 인접 채널 누설 전력비(ACLR), 스펙트럼 방출 마스크(SEM), 주파수 정확도 등 주요 기술 기준 항목을 안정적으로 측정할 수 있음을 확인하였다. 이는 이동형 전파 측정 시스템이 단순한 수신 레벨 분석을 넘어, 실제 무선국 검사 항목

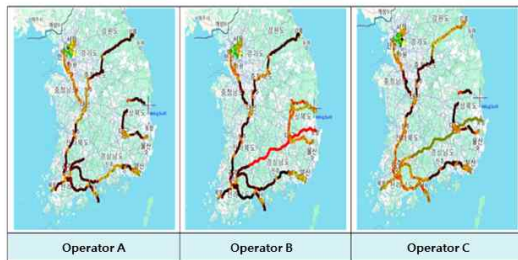


그림 2. 전파 수신 레벨 측정 결과  
Fig. 2. Configuration of the mobile radio measurement system.



그림 3. 이동형 무선국 검사 측정 화면  
Fig. 3. Measurement interface of the mobile wireless station inspection system.

에 대한 정량적 평가가 가능함을 의미한다.

측정 결과 이동형 OTA 측정 방식이 기존 직결 측정 방식 대비 전파 이상 징후에 대해 높은 민감도로 반응함을 시사하였다. 특히  $\pm 100$  MHz 대역에서의 ACLR 변동이 명확하게 측정되었으며, 이를 통해 이동형 측정 방식이 인접 채널 간 간섭 가능성을 조기에 탐지할 수 있는 수단으로 활용할 수 있음을 확인하였다.

종합적으로, 이동형 OTA 기반 무선국 검사 항목 측정 결과는 해당 측정 방식이 무선국의 잠재적 품질 저하 요인을 사전에 식별하고, 정밀 검사가 필요한 대상을 선별하는 데 효과적인 도구로 활용될 수 있음을 입증하였다(그림 3).

### 2.5 이동형 OTA 측정 방식의 특성 및 개선 방향

본 논문을 통해 이동형 OTA 측정 방식은 기존 직결 측정 및 고정형 OTA 측정 방식과 차별화된 특성을 보이고 있음을 확인하였다. 이동형 측정 방식은 차량 주행 중 실시간으로 전파 환경을 반영할 수 있어, 실제 이용자 관점의 전파 특성을 폭넓게 수집할 수 있는 장점이 있다.

이동 환경에서 발생하는 수신 레벨 변동, 간섭 및 페이딩 현상은 측정 불확도를 증가시키는 요인으로 작용할 수 있으나, 이는 동시에 무선국의 성능을 보다 엄격한 조건에서 검사할 기회로 해석할 수 있다. 즉, 이동형 OTA 측정 방식은 무선국의 성능 한계를 조기에 노출하는 ‘스트레스 테스트’ 성격의 측정 방식으로 활용할 수 있음을

확인하였다.

향후 개선 방향으로서는 첫째, 이동형 측정 환경에 최적화된 측정 알고리즘을 적용하여 순간적인 페이딩 영향을 완화하고, 평균화 및 신뢰 구간 기반 분석을 통해 측정 안정성을 더 향상할 수 있을 것으로 판단된다. 둘째, 직결 측정, 고정형 OTA 측정, 이동형 OTA 측정 간 상호 비교·분석을 통해 측정 결과의 상관관계를 정립함으로써, 이동형 측정 결과를 기존 검사 체계에 단계적으로 연계할 수 있을 것으로 판단된다. 셋째, 동일 노선 및 동일 시간대 반복 측정을 통해 시간적·공간적 전파 특성을 체계적으로 축적할 경우, 이동형 전파 측정 데이터는 무선국 성능 변화를 장기적으로 모니터링할 수 있는 기반 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 점에서 이동형 OTA 측정 방식은 기존 무선국 검사 체계를 보완하는 새로운 검사 패러다임으로 발전할 잠재력이 있다.

### Ⅲ. 결 론

본 논문은 이동형 OTA(over-the-air) 기반 전파 측정 기법 자체의 신규성보다는, 이를 무선국 검사 업무 관점에서 체계적으로 적용하고 그 운영 결과를 분석하였다는 점에서 차별성을 갖는다. 특히 접근이 곤란한 무선국 설치 환경을 대상으로 차량 주행 중 측정을 수행함으로써, 기존 직결 측정이나 고정형 OTA 측정 방식으로는 확보하기 어려운 실제 이용 환경 기반의 전파 특성을 대규모 수집·분석하였다.

분석 방법 측면에서는 이동형 전파 측정 시스템을 통해 수집된 데이터를 GPS 위치 정보와 연동하여 동일 무선국(PCI 기준)을 식별하고, 수신 전계 강도 분포와 함께 안테나 공급전력, 인접채널 누설 전력비(ACLR), 스펙트럼 방출 마스크(SEM), 주파수 정확도 등 주요 무선국 검사 항목을 통합적으로 분석하였다. 이를 통해 이동 환경

에서 무선국 성능이 보이는 변동 범위와 특성을 정량적으로 평가하였으며, 단일 지점 측정 중심의 기존 검사 방식과는 다른 분석 범위를 제시하였다.

주요 연구 결과로서, 이동형 OTA 측정 방식은 실제 이용 환경에서의 전파 특성을 효과적으로 반영하고, 무선국의 잠재적 이상 징후에 대해 높은 민감도로 반응함을 확인하였다. 특히 인접 채널 간 간섭 가능성이나 스펙트럼 특성 변화와 같은 검사 항목의 변동이 이동 중 측정에서도 안정적으로 관측되었으며, 이는 이동형 OTA 측정 방식이 무선국 검사 업무에서 정밀 검사가 필요한 대상 무선국을 선별하는 1차 검사 수단으로 활용될 수 있음을 시사한다.

종합적으로 본 논문은 이동형 OTA 기반 전파 측정 방식이 기존 무선국 검사 체계를 대체하기보다는, 이를 보완하는 효율적인 검사 도구로서 적용 가능성을 실증적으로 제시하였으며, 향후 전파 데이터의 지속적 축적과 분석을 통해 무선국 검사 절차 및 전파관리 제도 개선을 위한 정량적 근거 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

### References

- [1] S. Duan, W. Wang, B. Tang, Y. Wu, and Y. Liu, "A review of over-the-air testing methods for performance measurement of antennas and devices in communication systems," *RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, vol. 2024, p. 6660144, Jan. 2024.
- [2] E. Brinciotti, "OTA testing in 5G NR: Challenges, solutions & best practices," Anritsu White Paper, Aug. 2021.
- [3] M. Heikkilä, "Field trials and test methods in vertical driven 5G and beyond mobile network research," Ph.D. dissertation, University of Oulu, Oulu, 2024.