

5G NR SA 환경에서 SS-PBCH BlockPower를 활용한 OTA 기반 기지국 안테나 공급전력 추정 기법

Over-The-Air Based Base Station Output Estimation Using SS-PBCH BlockPower in 5G NR Standalone Networks

손영수¹ · 임창용² · 최인태³ · 박종진⁴ · 추경곤⁵ · 김승준⁶ · 임동균⁷ · 고병휘⁸

Young-Su Son¹ · Chang-Yong Lim² · In-Tae Choi³ · Jong-Jin Park⁴ · Gyeong-Gon Choo⁵ ·
Seung-Jun Kim⁶ · Dong-Kyun Lim⁷ · Byung-Hwi Ko⁸

요 약

본 논문에서는 5G NR SA 환경에서 제공되는 SS-PBCH BlockPower와 SS-RSRP를 이용하여 OTA 기반 기지국 안테나 공급전력 추정 기법을 제안한다. 제안 기법은 두 측정값을 이용하여 실제 전파환경의 경로손실을 추정하고 이를 기반으로 기지국 안테나 공급전력을 산출한다. 국내 상용 5G SA망의 삼성전자, 에릭슨 및 노키아 기지국을 대상으로 검증한 결과, 제안 기법은 기지국 안테나 공급전력과 높은 상관관계를 나타냈으며 OTA 환경에서 기지국 안테나 공급전력 추정이 가능함을 확인하였다.

Abstract

This paper proposes an over-the-air (OTA)-based base station output estimation method using synchronization signal/physical broadcast channel (SS/PBCH) block power and synchronization signal reference signal received power (SS-RSRP) in 5G new radio (NR) standalone networks. The proposed method estimates propagation loss under real deployment conditions and derives base station output accordingly. Field measurements were conducted on commercial Samsung, Ericsson, and Nokia base stations. The results showed that the proposed method has a strong correlation with base station output and can be effectively applied to OTA-based output estimation.

Key words: 5G NR, SS-PBCH BlockPower, Free-Space Path Loss, OTA Measurement, Base Station Inspection

I. 서 론

최근 이동통신망은 5G NSA(non-standalone) 환경에서

5G SA(standalone) 환경으로 빠르게 전환되고 있으며, Massive MIMO 및 beamforming 기술의 확산으로 네트워크 성능이 지속적으로 향상되고 있다. 이러한 기술 변화

「이 연구는 한국방송통신전파진흥원의 지원으로 연구되었음.」

한국방송통신전파진흥원 전파기반본부(Radio Infrastructure Bureau, Korea Communications Agency)

1: 차장(<https://orcid.org/0009-0004-6042-6836>), 2: 본부장(<https://orcid.org/0009-0000-6654-6573>), 3: 팀장(<https://orcid.org/0009-0005-5066-2840>),

4: 차장(<https://orcid.org/0009-0003-9815-7873>), 5: 과장(<https://orcid.org/0009-0006-3210-7920>), 6: 과장(<https://orcid.org/0009-0005-5483-5921>),

7: 과장(<https://orcid.org/0009-0002-6971-2818>), 8: 과장(<https://orcid.org/0009-0009-7525-8405>)

· Manuscript received June 17, 2026 ; Revised August 10, 2026 ; Accepted August 19, 2026. (ID No. 20260617-004S)

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

에 따라 무선국 검사 및 기지국 안테나 공급전력 측정 방식의 개선 필요성이 증가하고 있다.

현재 기지국 안테나 공급전력 측정은 RF 출력단에 측정장비를 직접 연결하여 측정하는 직결 측정 방식이 기준으로 활용되고 있다. 직결 측정 방식은 높은 정확도를 제공하지만 기지국 장비에 직접 접근해야 하며, 일체형 안테나 시스템 환경에서는 적용에 제약이 있다. 또한 현장 작업에 많은 시간과 인력이 소요되는 문제점이 존재한다.

이러한 한계를 보완하기 위하여 OTA(over-the-air) 기반 측정 기술이 대안으로 제시되고 있다. OTA 측정 방식은 기지국에 직접 접속하지 않고 전파를 수신하여 공급전력 특성을 추정할 수 있어 현장 적용성이 우수하다. 그러나 기존 OTA 측정 방식은 자유공간 경로손실(FSPL)을 이용하여 공급전력을 추정하므로 실제 전파환경, 안테나 특성 및 beamforming 영향에 따른 오차가 발생할 수 있다.

한편 5G NR SA 시스템에서는 동기신호 블록(SSB)에 대한 공급전력 정보가 SS-PBCH BlockPower 형태로 제공된다. 또한 측정장비는 SS-RSRP를 측정할 수 있으므로 두 정보를 이용하여 실제 전파환경에서의 경로손실을 추정할 수 있다. 그러나 현재까지 SS-PBCH BlockPower를 활용한 OTA 기반 기지국 안테나 공급전력 추정 연구는 제한적으로 수행되었다.

본 논문에서는 5G NR SA 환경에서 SS-PBCH BlockPower와 SS-RSRP를 이용하여 경로손실을 추정하고 이를 기반으로 기지국 안테나 공급전력을 산출하는 OTA 기반 공급전력 추정 기법을 제안한다. 또한 국내 상용 5G SA 망에서 운용 중인 삼성전자, 에릭슨 및 노키아 기지국을 대상으로 현장 측정을 수행하여 제안 기법의 적용 가능성을 실험적으로 검증하였다.

II. 본 론

2-1 기존 OTA 측정방식의 한계

기존 무선국 검사업무에서는 기지국의 안테나 공급전력을 측정하기 위하여 RF 출력단에 측정장비를 직접 연결하는 직결 측정(conducted measurement) 방식을 사용한

다. 직결 측정 방식은 높은 정확도를 확보할 수 있으나 기지국 장비에 직접 접근해야 하는 제약이 있다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 OTA(over-the-air) 기반 측정 기술이 대안으로 제시되고 있다. OTA 측정 방식은 기지국에 직접 접속하지 않고 전파를 수신하여 공급전력 특성을 추정하는 방법으로 현장 적용성이 우수하다는 장점이 있다.

기존 OTA 기반 공급전력 측정은 측정 위치에서 수신한 전력과 자유공간 경로손실(FSPL)을 이용하여 기지국 안테나 공급전력을 산출한다. 자유공간 경로손실은 식 (1)과 같이 계산된다.

$$FSPL(dB) = 92.45 + 20\log_{10}(f_{GHz}) + 20\log_{10}(d_{km}) \quad (1)$$

여기서 (f_{GHz})는 주파수(GHz), (d_{km})는 송수신기 간 거리(km)를 의미한다(그림 1).

그러나 실제 전파환경에서는 건물, 지형 및 주변 반사체에 의한 반사, 회절 및 산란 현상이 발생하며, Massive MIMO 기반 5G NR 기지국은 Beamforming 기술을 이용하여 다수의 빔을 동적으로 형성한다. 따라서 거리와 주파수만을 이용한 이론적 FSPL 계산은 실제 전파환경을 충분히 반영하지 못하며 OTA 기반 기지국 안테나 공급전력 추정 오차의 원인이 될 수 있다.

본 연구에서는 SS-PBCH BlockPower와 동일 측정지점에서 측정된 S-RSRP의 차이를 이용하여 실제 측정환경의 영향을 반영하는 OTA offset을 산출한다. 산출된 OTA offset을 channel power에 적용하여 기지국 안테나 공

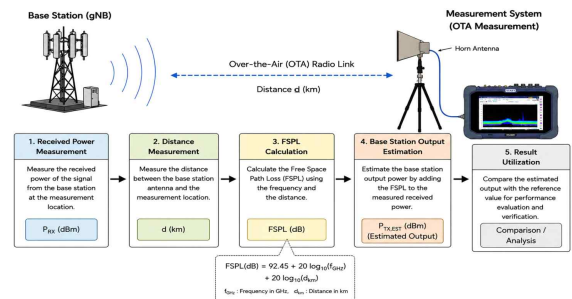


그림 1. 기존 OTA 기반 기지국 안테나 공급전력 측정 절차

Fig. 1. Conventional FSPL-based output estimation procedure for OTA measurement.

급전력을 추정한다.

2-2 SS-PBCH BlockPower와 S-SS RSRP를 이용한 OTA 기지국 안테나 공급전력 추정 기법

5G NR SA 시스템은 셀 탐색 및 초기 접속을 위하여 SSB(synchronization signal block)을 주기적으로 송신한다. SSB는 PSS, SSS 및 PBCH로 구성되며, 단말은 이를 이용하여 셀 동기화 및 시스템 정보를 획득한다. 이 과정에서 SIB1(system information block type 1)을 통해 SS-PBCH BlockPower 정보가 제공된다.

SS-PBCH BlockPower는 SSB를 구성하는 RE(resource element)의 기준 송신전력을 의미하며, 기지국 안테나 공급 전력 수준과 직접적인 상관관계를 가진다. 또한 해당 정보는 단말이 별도의 네트워크 접속 없이 수신할 수 있으므로 OTA 기반 공급전력 추정에 활용할 수 있다(그림 2).

SS-PBCH BlockPower와 동일 측정지점에서 측정한 S-SS RSRP의 차이를 이용하여 OTA offset을 산출할 수 있으며, 이는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$PL_{OTA} = P_{SS-PBCH} - P_{S-SSRSRP} \quad (2)$$

여기서 $P_{SS-PBCH}$ 는 SIB1을 통해 획득한 SS-PBCH BlockPower, $P_{S-SSRSRP}$ 는 동일 측정지점에서 측정한 S-SS RSRP, PL_{OTA} 는 두 값의 차이로 산출한 OTA offset을 의미한다.

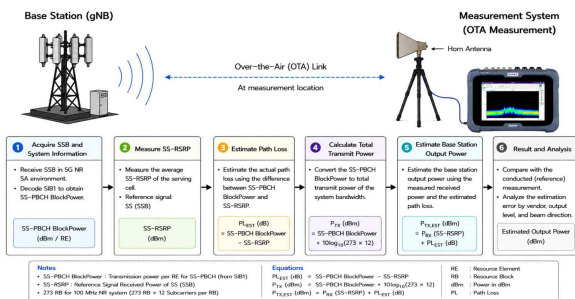


그림 2. SS-PBCH BlockPower와 S-SS RSRP를 이용한 OTA 기지국 안테나 공급전력 추정 절차

Fig. 2. OTA-Based base station output estimation procedure using SS-PBCH BlockPower and S-SS RSRP.

또한 3.5 GHz 대역의 100 MHz NR 시스템에서는 최대 273개의 RB(resource block)이 사용되므로, SS-PBCH BlockPower를 전체 NR 대역의 전력으로 환산하기 위한 관계는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{TX} (dBm) = P_{SS-PBCH} + 10\log_{10}(273 \times 12) \quad (3)$$

여기서 P_{TX} 는 SS-PBCH BlockPower를 100 MHz 전체 대역 기준 전력으로 환산한 값이며, $P_{SS-PBCH}$ 는 SS-PBCH BlockPower를 의미한다. 273은 100 MHz NR 대역에서의 최대 RB(resource block) 수이며, 12는 하나의 RB를 구성하는 부반송파 수를 의미한다.

$$P_{TX,EST} (dBm) = P_{CH} + PL_{OTA} (dB) \quad (4)$$

여기서 $P_{TX,EST}$ 는 추정된 기지국 안테나 공급전력, P_{CH} 는 channel power, PL_{OTA} 는 SS-PBCH BlockPower와 S-SS RSRP의 차이로 산출한 OTA offset을 의미한다. 송·수신 안테나 이득과 수신계통의 영향은 별도 보정하지 않고, 동일 측정지점에서 산출한 OTA offset에 포함하여 반영하였다. 산출된 OTA offset을 channel power에 적용하여 기지국 안테나 공급전력을 추정한다.

2-3 측정 환경 및 데이터 수집

제안 기법의 검증을 위하여 국내 이동통신 사업자 KT가 운용 중인 5G NR SA 상용망을 대상으로 현장 측정을 수행하였다. 측정 대상은 삼성전자, 에릭슨 및 노키아 제조사의 기지국 총 30개로 구성하였다.

측정은 직결 측정과 OTA 측정을 병행하여 수행하였다. 직결 측정은 안테나 공급전력을 측정하여 기준 공급 전력값으로 사용하였으며, OTA 측정에서는 SS-RSRP 및 SS-PBCH BlockPower 정보를 수집하였다.

직결 측정은 기지국 TX Coupler에서 RF 공급전력을 직접 측정하고, OTA 측정은 안테나 방사 신호에 OTA Offset을 적용하여 안테나 공급전력으로 환산하였다. 두 측정의 기준면(reference plane)은 다르지만 최종 비교 대상은 기지국 안테나 공급전력으로 동일하게 정의하였다.

또한 기지국 안테나 공급전력 변동을 최소화하기 위하여 제조사별 OCNS 설정을 적용하였으며, 반복 측정을 통

해 측정 오차를 최소화하였다.

2.4 측정 결과 및 분석

SS-PBCH BlockPower는 기지국 안테나 공급전력 증가에 따라 증가하는 경향을 나타냈으며, 공급전력 수준별 측정 결과는 표 1과 같다.

SS-PBCH BlockPower와 S-SS RSRP로 산출한 OTA offset을 적용한 공급전력 추정 결과는 표 2와 같다.

식 (3)의 기존 SS-PBCH BlockPower 기반 방식과 비교한 결과, 제안 기법의 평균 절대오차는 2.73 dB에서 1.02 dB로 감소하였다.

표 1. 공급전력 수준별 SS-PBCH BlockPower 측정 결과
Table 1. Measured SS-PBCH BlockPower according to output level.

Output level (W)	Output power (dBm)	SS-PBCH BlockPower (dBm)
100	49.0	14
128	52.0	17
320	55.0	20

표 2. 기존 방식과 제안 방식의 기지국 안테나공급전력 추정 결과 비교

Table 2. Comparison of base station output estimation results.

Vendor	Base station output (W)	Direct measurement (dBm)	Conventional method (dBm)	Proposed method (dBm)	Error (dB)
Samsung	100	46.33	49.15	47.86	1.53
	320	52.52	55.15	51.42	-1.1
Ericsson	100	49.40	49.15	48.16	-1.24
Nokia	128	46.92	52.15	47.12	0.2

III. 결 론

본 논문에서는 SS-PBCH BlockPower와 S-SS RSRP를 이용한 OTA 기반 기지국 안테나 공급전력 추정 기법을 제안하고, 국내 상용 5G SA망을 대상으로 적용 가능성을 검증하였다.

References

- [1] NR; *Radio Resource Control (RRC) Protocol Specification*, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), TS 38.331, Jan. 2024.
- [2] NR; *Base Station (BS) Radio Transmission and Reception*, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), TS 38.104, Jan. 2024.
- [3] NR; *Physical Layer Measurements*, 3rd Generation Partnership Project (3GPP), TS 38.215, Jan. 2024.
- [4] Telecommunications Technology Association (TTA), "Comparison analysis for RF-EMF measurement results for 5G-NR base station according to measurement method of SSB signal level", Oct. 2024.
- [5] VIAVI Solutions, *5G NR Beam Analyzer and SS-PBCH BlockPower Measurement Application Note*, Chandler, AZ, VIAVI Solutions, 2020.
- [6] J. M. Kim, G. Kim, Y. Son, and G. Choo, "Proposal to test 5G NR base station performance in OTA," *The Journal Korean Institute Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 35, no. 9, pp. 725-728, Sep. 2024.