

# 유효등방복사전력(EIRP)을 활용한 5G 주파수 대역 총복사전력(TRP) 측정시간의 단축방안 검증

김동우\* · 오순수\*\*

Verification on the Reduction Technique of Measurement Time of Total Radiated Power (TRP) by Using Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) in 5G Frequency Band

Dong-Woo Kim\* · Soon-Soo Oh\*\*

## 요약

본 논문은 수십시간이 소요되는 총복사전력(TRP) 측정 시간을 단축하는 방안을 컴퓨터 모의실험과 실제 실험을 통하여 검증한 결과를 제시하고 있다. 5G의 고주파수 대역에서는 무선통신기기의 정확한 성능평가를 위하여 TRP 측정이 기본적으로 수행되지만 촘촘한 샘플링 간격 때문에 인하여, 긴 측정 시간이 소요되는 문제점을 가지고 있다. 더구나 다양한 빔 형성 시나리오를 갖는 경우 전체 측정 시간은 기하급수적으로 증가한다. 따라서, TRP 측정 시간 단축 방안이 필요하며, 그 일환으로 본 논문에서는 유효등방복사전력(EIRP)과 TRP 관계식을 이용하여 측정시간을 단축하는 방법을 다루었다. 먼저 TRP와 EIRP의 관계식을 관찰하고, 피시험용 안테나의 설계 및 제작하였으며 모의실험 결과와 측정결과를 통한 오차를 분석하였다. 그 결과 EIRP를 통하여 TRP를 산출한 결과는 매우 작은 오차를 가짐을 확인하였다. 본 방법은 향후 5G 무선통신기기의 TRP 도출에 적용할 수 있을 것으로 예상된다.

## ABSTRACT

In this paper, we described the verification results on method by using the computer simulation and practical experiment for reduction of total radiated power (TRP) measurement time consuming tens of hours. TRP measurements are used in the 5G band in order to exactly evaluate the wireless communication equipment, but it takes a long measurement time because of dense sampling interval. Moreover, if there are various beam forming scenarios, the total measurement time increases exponentially. Therefore, the world-wide research on reduction method of the TRP measurement time is intensively on going. The verified method in this paper is to calculate the TRP through effective isotropic radiated power (EIRP). At first, the relation of TRP and EIRP was investigated, and an antenna for testing was designed and constructed. And, the amount of error was analyzed through simulation and measurement. The analysed results showed that the derived TRP through EIRP has very small error. This method could be applied for TRP measurements of 5G wireless communication equipments.

## 키워드

5G Antenna, Antenna Measurement, EIRP, TRP  
5G 안테나, 안테나 측정, 유효 등방 복사 전력, 총 복사 전력

\* 조선대학교 전자공학과 (DWkim@chosun.kr)

† 교신저자 : 조선대학교 전자공학과

• 접수일 : 2020. 08. 31

• 수정완료일 : 2020. 09. 22

• 게재확정일 : 2020. 10. 15

• Received : Aug. 31, 2020, Revised : Sep. 22, 2020, Accepted : Oct. 15, 2020

• Corresponding Author : Soon-Soo Oh

Department of Electronics Engineering, Chosun University.

Email : ssoh@chosun.ac.kr

## I. 서 론

모바일 트래픽 증가, 대용량 데이터 전송 등 전파 자원의 수요가 급증함에 따라 새로운 전파자원인 밀리미터파 대역에 대한 시장 수요도 확대되고 있다. 이에 따라 국내에서는 5G 서비스를 시작하였으며, 밀리미터파 대역에서는 채널용량 증대 및 주파수 사용률 향상을 목적으로 다중배열 빔포밍 기술을 사용할 것이다[1-4].

국립전파연구원은 2018년에 5G 무선설비 기술기준(안) 마련 및 행정예고를 하였다. 고시에 따르면 5G 고주파수 대역은 안테나 일체형 기기이므로 3GPP(3rd Generation Partnership Project)가 도입한 총복사전력(Total Radiated Power: TRP)이라는 출력기준을 5G 기술기준의 주요 항목으로 선정하였다[5-6].

그러나 5G 무선통신기기의 TRP 측정 시 1MHz 또는 100kHz 간격으로 266개 포인트 측정을 진행해야 하므로 최소 2.7일이라는 긴 시간이 필요하다[7]. 더구나 다양한 빔포밍 시나리오를 갖는 경우 측정 시간이 기하급수적으로 증가하여 측정 시간과 비용이 크게 상승하는 문제점이 있다.

본 논문에서는 TRP를 보다 효율적으로 측정할 수 있는 간소화 방안으로써, 유효등방복사전력(Effective Isotropical Radiated Power : EIRP)으로부터 TRP를 계산하는 방법을 소개하였으며 모의실험 결과와 측정 결과를 비교하여 분석하였다. II장에서는 TRP와 EIRP의 관계이론을 유도하였으며, III장에서는 피시험용 안테나의 특성을 기술하였으며, IV장에서는 검증 결과를 제시하였다. 마지막으로 결론에서는 향후 연구 방향을 기술하였다.

## II. TRP와 EIRP 관계 이론

### 2.1 TRP 및 EIRP 수학적

TRP는 전자장치의 형태로 무선통신기에서 복사되는 총 전력을 의미한다. TRP를 계산하는 수식은 식 1과 같다. 여기서  $S_r(r, \theta, \phi)$ 는 전력 포인팅 벡터이며, 단위는  $\text{Watt/m}^2$  이다[89].

$$TRP = \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} S_r(r, \theta, \phi) r^2 \sin\theta d\theta d\phi \quad (1)$$

일반적으로 TRP 측정은 구 형태의 grid 위에서 측정을 수행하므로 식 1로부터 식 2를 유도하였다.

$$\begin{aligned} TRP &\approx \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \frac{1}{2\eta} \{ |E_{\theta}(\theta_n, \phi_m)|^2 + |E_{\phi}(\theta_n, \phi_m)|^2 \} r^2 \sin\theta_n \Delta\theta \Delta\phi \\ &= \frac{2\pi^2}{NM} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \frac{1}{2\eta} \{ |E_{\theta}(\theta_n, \phi_m)|^2 + |E_{\phi}(\theta_n, \phi_m)|^2 \} r^2 \sin\theta_n \\ &= \frac{\pi^2}{\eta NM} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \{ |E_{\theta}(\theta_n, \phi_m)|^2 + |E_{\phi}(\theta_n, \phi_m)|^2 \} r^2 \sin\theta_n \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 N은 각도  $\theta$ 의 샘플링 개수이며, M은 각도  $\phi$ 의 샘플링 개수이다. 그리고  $\theta$ 의 간격  $\Delta\theta$ 와  $\phi$ 의 간격  $\Delta\phi$ 는 각각  $\Delta\theta = \pi/N$ ,  $\Delta\phi = \pi/M$  이다.  $E_{\theta}$ 는 점 (n,m)에서  $\theta$  방향 성분이며,  $E_{\phi}$ 는 점 (n,m)에서  $\phi$  방향 성분이다.

EIRP는 기존의 송신 출력의 의미에서 안테나 이득을 추가한 개념으로, 식 (3)과 같이 계산할 수 있다.  $P_t$ 는 안테나단으로 입력되는 전력이며,  $G_t$ 는 송신안테나의 이득이다[8-9].

$$EIRP = P_t + G_t \text{ [dB]} \quad (3)$$

물리적 의미로는, 지향성 패턴을 갖는 안테나의 최대 지향방향에서 수신기의 수신전력에 대하여 등방성 패턴을 갖는 송신 안테나(isotropic antenna)에 얼마만큼의 출력을 인가할 경우 같은 값을 갖는지에 관한 것이다. EIRP 개념을 사용하는 이유는 다양한 안테나 방사패턴을 갖는 무선통신기기의 성능을 일률적으로 관리하기 위하여 생성한 파라미터이다. 따라서 EIRP를 적용하는 시험 항목은 주로 송수신이 가능한 통신 상태에서 각 무선통신기기의 성능을 평가는 시험이다.

### 2.2 TRP와 EIRP 관계식

TRP와 EIRP의 관계식은 식 (4)와 같다[8-9].

$$TRP = P_t - L_{ant} = P_t + G_t - G_t - L_{ant} \quad (4)$$

$$= EIRP - (G_t + L_{ant}) = EIRP - D_t \text{ [dB]}$$

여기서  $L_{ant}$ 는 안테나 내부의 손실이다.  $D_t$ 는 송신 안테나의 지향성이며, 수식 (5)와 같이 구할 수 있다 [8-9].

$$D = \frac{4\pi}{\int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} |E(\theta, \phi, r) / E(\theta, \phi, r)_{\max}|^2 \sin\theta d\theta d\phi} \quad (5)$$

식 (4)에 따르면 TRP는 EIRP의 최대값과 지향성으로 구할 수 있다. 한가지 주의할 점은 지향성과 이득은 효율이 100%일 경우 같은 값을 갖지만, 밀리미터파 대역의 높은 주파수대에서는 일반적으로 효율이 100%가 아니므로 지향성과 이득은 동일하지 않다.

### III. 피시험용 안테나

#### 3.1 피시험용 안테나 설계 및 제작

본 논문에서 TRP 측정 간소화를 위하여 24 GHz ~ 28 GHz 대역에서 동작하도록 설계하였으며 그림 1에서 구조를 보이고 있다. 그림 1(a)는 설계한 안테나의 모의실험 모델이며 사용 툴은 ANSYS HFSS이다. 안테나는 8×8 배열로 설계하였으며 방사 소자 면적은 44.60 mm × 43.75 mm이다. 그림 1(b)는 피시험용 안테나의 수직 단면도이며 다층구조로 구성하였다. 피시험용 안테나는 패치 층과 급전 및 개구 층 [10-12]으로 구분된다. 설계된 안테나는 급전 선로에 파를 인가하고 개구면 주변에 전류가 여기되어 개구면에 형성된 자계가 패치 안테나와 결합을 통해 방사되는 원리이다. 설계 기판의 비유전율은 2.2이고 패치 층의 기판 두께는 20 mil (0.508 mm), 급전과 접지 개구 층의 기판 두께는 10 mil (0.254 mm)로 설계하였다.

그림 2는 제작된 피시험용 안테나 형상이다. 안테나의 급전과 고정을 위하여 기구물을 특수 제작하였다.

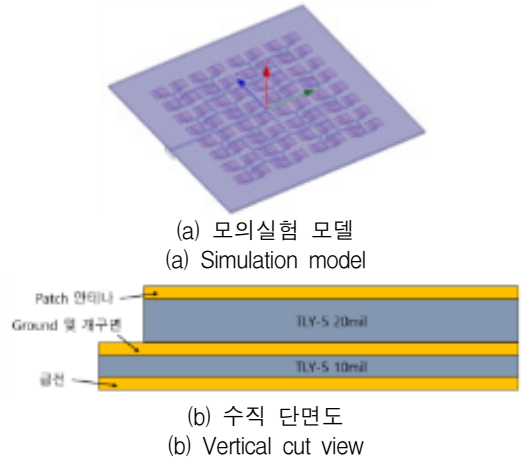


그림 1. 피시험용 안테나 구조  
Fig. 1 Structure of antenna under test

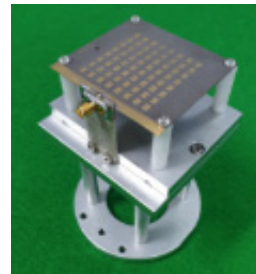


그림 2. 제작된 피시험용 안테나  
Fig. 2 Manufactured antenna under test

제작한 안테나의 반사계수 측정값은 나주의 한국방송통신전파진흥원의 전파기술팀 기술지원을 받아 수행하였다. 제작한 안테나의 -10 dB 대역폭은 약 4 GHz이며, 26 GHz 대역에서 동작하는 안테나임을 확인하였다.

#### 3.2 안테나 반사계수 및 전체 방사패턴

설계한 배열 안테나의 전체 방사패턴은 ANSYS HFSS를 활용하여 획득하였으며, 그림 3과 같다.

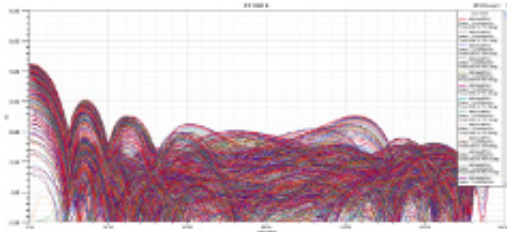


그림 3. 배열 안테나의 시뮬레이션 방사패턴  
Fig. 3 Simulated radiation pattern of array antenna

#### IV. EIRP 관계식을 이용한 TRP 산출 시간 단축방안 검증

##### 4.1 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 검증

컴퓨터 모의실험 결과로부터 구한 안테나 파라미터는 표 1과 같다. EIRP는 입력전력과 안테나 이득의 합이므로  $0 \text{ dBm} + 21.37 \text{ dBi}$  이다. 따라서 TRP를 계산하면  $\text{TRP} = 21.37 - 22.43 = -1.065 \text{ dB}$ 이다. HFSS 툴에서 기본 파라미터로 제공하는 TRP값은 표 1과 같이  $-1.064 \text{ dBm}$ 이다. 따라서 EIRP 관계식을 활용하여 구한 값과  $0.001 \text{ dB}$ 의 오차밖에 가지지 않는다.

표 1. TRP와 EIRP 관계식의 시뮬레이션 결과  
Table 1. Simulation results of relation between TRP and EIRP

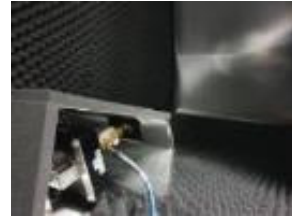
TRP	Parameter	Result(dBm)
Relation between TRP and EIRP (Eq. 4)	$P_t$	0.00
	$G_t$	21.37
	EIRP	21.37
	$D_t$	22.43
	TRP	-1.065
HFSS Simualtor	TRP	-1.064

##### 4.2 CATR 챔버 측정을 통한 검증

제작된 안테나는 Keysight사의 CATR (Compact antenna test ranges) 챔버에서 수행되었다. 그림 5는 측정 시 사용된 CATR 챔버의 내부 모습을 보이고 있다. 챔버 외부에 신호 발생기와 스펙트럼 분석기 및 데이터 수집용 PC가 있다.

피시험용 안테나는 챔버 안쪽에 장착되며 방사 소자가 반사판을 바라보도록 설치한다. 신호 발생기로부터 출력된 신호는 피시험용 안테나로 급전되며 반사

기를 거쳐 혼 안테나로 전파를 수신한다. 수신된 전파는 스펙트럼 분석기를 통하여 데이터로 수집된다. 수직 편파 측정 완료 후 수평 편파의 측정을 수행한다.



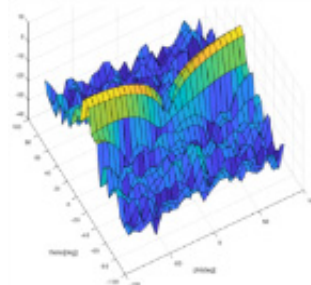
(a) 반사판과 피드혼  
(a) Reflector and feed horn



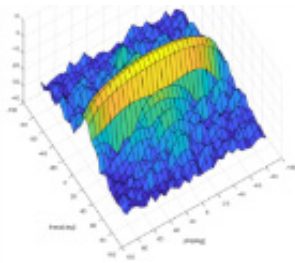
(b) AUT 장착 모습  
(b) AUT installation

그림 4. CATR 챔버의 측정환경  
Fig. 4 Measurement environment of CATR chamber.

그림 5는 샘플링 간격 각도를 6도로 설정한 수신전력 측정값을 도시하고 있다.



(a)  $\theta$  방향 전기 성분,  $E_\theta$   
(a)  $\theta$ -direction electric component,  $E_\theta$



(b)  $\phi$  방향 전기 성분,  $E_\phi$

(b)  $\phi$ -direction electric component,  $E_\phi$

그림 5. CATR 챔버의 수신전력 측정값  
Fig. 5 Received power of CATR chamber measurement.

표 2는 측정시스템의 구성을 바탕으로 TRP를 검증하기 위하여 각 파라미터를 정리한 것이다. 측정에 사용된 CATR 챔버의 구비된 표준혼안테나의 측정 가능 최고 주파수는 26.5 GHz이므로 분석 및 측정을 26.5 GHz에서 실시하였다.

표 2. TRP 산출을 위한 파라미터  
Table 2. Parameters of TRP for calculation.

	Parameter	Unit	Value
EIRP	Incident Power ( $P_i$ )	dBm	-10.69
	Received power of standard horn	dBm	-46.06
	Gain of standard horn	dBi	17.52
	Received power of AUT	dBm	-44.11
	Gain of AUT( $G_t$ )	dBi	19.47
	EIRP	dBm	8.78
$D_t$	Directivity of AUT (Eq. 5)	dBi	24.05
TRP	Relation between TRP and EIRP (Eq. 4)	dBm	-15.27
	Manufacture (Keysight)	dBm	-15.35
	Difference	dB	0.08

먼저 표준안테나를 장착하여 수신전력 기준값을 파라미터를 활용하여 측정하였다. 다음으로 피시험용 안테나에 대한 수신전력 측정값과 표준안테나(모델명: SAGE사 SAR-2013-282F-E2)의 수신전력 측정값의 차를 이용하여 피시험용 안테나의 이득을 계산하였다. 피시험용 안테나의 EIRP는 식(3)과 같이 피시험용 안테나 인가전력과 피시험용 안테나 이득의 합으로 구할 수 있다. 피시험용 안테나의 EIRP값은 8.78 dBm

이 산출되었다. 피시험용 안테나의 지향성을 계산하기 위하여 식 (5)를 사용하였으며, 24.05 dBi를 얻었다.

TRP와 EIRP 관계식 활용방법으로 산출한 TRP는 -15.27 dBm이다. Keysight사에서 제공하는 기준값은 -15.35 dBm이다. 두 방법의 값은 0.08 dB의 작은 오차를 가지므로 EIRP로부터 TRP를 산출하는 방법은 합리적이라고 할 수 있다.

## V. 결론

본 과제에서는 빔포밍 안테나를 적용한 5G 기지국 및 단말기의 TRP 측정시간 단축 방안을 제시하였다. TRP와 EIRP의 관계식을 활용하여 EIRP와 지향성으로부터 TRP를 구하는 과정을 기술하였다. 피시험 안테나의 모의실험 결과를 통하여 0.001 dB의 오차를 확인하였으며 측정값을 통한 산출값도 0.08 dB의 작은 오차를 가지는 것을 확인하였다.

본 논문에서 EIRP와 피시험용 안테나의 지향성의 관계식을 통한 TRP 도출 방법은 빔포밍 기술이 적용된 안테나의 TRP 측정 시간 단축과 측정비용 감소에 도움을 줄 것으로 예상하며, 향후 한쪽만 좁은 빔폭을 갖는 팬빔 안테나에 대한 검증 연구를 수행할 예정이다.

### 감사의 글

본 연구는 한국연구재단 이공학개인기초연구 지원사업 (NRF-2018R1D1A1B07045770) 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## References

- [1] K. Gwon, D. Park, W. Lee, S. Park, S. Kim, and D. Lee, "5G Ecosystem White Paper, Korea," 5G Forum, 2018.
- [2] FCC Office of Engineering and Technology Laboratory Division, "Basic certification requirements and measurement procedures for upper microwave flexible use service devices," 842590 D01 Upper Microwave Flexible Use Service

v01, Feb. 2019.

- [3] ETSI TR 137 907 v15.0.0, "Universal mobile telecommunications system (UMTS); LTE; Measurements of User Equipment (UE); radio performances for LTE/UMTS terminals; Total radiated power (TRP) and total radiated sensitivity (TRS) test methodology," *The European Telecommunications Standards Institute*, July 2018.
- [4] 3GPP TR 38.817-02 v15.4.0(2019-06), "3rd generation partnership project; Technical specification group radio access network; NR; General aspects for base station (BS) radio frequency (RF) for NR," *3rd Generation Partnership Project*, June 2019.
- [5] J. Lim, H. Song, and Y. Seo, "Basis Establishment for Radio Usage of 5G Commercialization," *Radio Research Agency*, 2018.
- [6] KS X 3271:2019 5G NR (New Radio), "Test Methodology of Radiation Test for Wireless Communication Equipment," *Korea Communications Standards Commission*, 2019.
- [7] 3GPP TSG RAN WG4, "OTA test metrics and testability for 5G mmW UE," *3rd Generation Partnership Project*, 2017.
- [8] C. A. Balanis, *Antenna Theory, Analysis and Design*, New York: John Wiley & Sons, 2005.
- [9] W. Stutzman and G. Thiele, *Antenna Theory and Design*, New York: John Wiley & Sons, 2012.
- [10] O. Kim, G. Kim, and S. Rhee, "Wideband Slot-Coupled Microstrip Antenna with The Reflector," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 6, 2019, pp. 1045-1051.
- [11] G. Kim, O. Kim, and S. Rhee, "Design of L-shaped Dual Inset Feeding Microstrip Stacked Patch Antenna," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 3, 2019, pp. 461-466.
- [12] J. Yoon, "Design and Implementation of Triple-band WLAN Antenna with Microstrip Lines," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 1, 2019, pp. 33-40.

저자 소개



**김동우(Dong-Woo Kim)**

2016년 조선대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 2018년 조선대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2018년~현재 조선대학교 대학원 전자공학과 공학박사 과정중

※ 관심분야 : 안테나, 통신시스템, 전파전파



**오순수(Soon-Soo Oh)**

1998년 인하대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 2000년 인하대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학석사)

2003년 고려대학교 대학원 전파공학과 졸업 (공학박사)

2003-2005 University of Manitoba Post-Doc Fellow

2005-2013 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원

2013~현재 조선대학교 전자공학과 부교수

※ 관심분야 : 전파전파, 안테나측정시스템, 배열 안테나