

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2022.22.2.43>
JIIBC 2022-2-7

밀리미터파(W대역) 안테나 측정을 위한 원-전계 측정 시스템 설계 및 검증

Design and Verification of Far-field measurement system for W-band Millimeter-wave Antenna

백종균*, 황인준**, 조치현**, 주정명*, 주지한*, 박종국*, 김재식***, 김소수***

Jong-Gyun Baek*, In-June Hwang**, Chi-Hyun Cho**, Jung-Myoung Joo*,
Ji-Han Joo*, Jong-Kuk Park*, Jaesik Kim***, Sosu Kim***

요약 본 논문에서는 밀리미터파 W대역에서 동작하는 안테나 성능 측정을 위한 원-전계 측정 시스템을 설계하고 검증하였다. 안테나 성능 시험은 안테나의 종류, 측정 항목, 측정 환경 및 기간 등에 따라 측정 시스템을 선택해야 한다. 근접 전계 측정은 안테나가 다중 채널을 가지거나 다양한 빔을 가지고 있을 경우, 측정 항목이 증가하기 때문에 많은 시간이 소요된다. 이러한 안테나는 원-전계 측정을 통해 측정 시간을 단축할 수 있고 필요한 측정 항목만 측정이 가능하다. 따라서 본 연구는 원-전계 측정 시스템을 고출력 레이저를 이용하여 정밀한 정렬을 확보하고 이중 증폭기 시스템을 적용하여 측정 정확도를 향상하였다. 설계된 시스템은 무반향 챔버 내 구축하였으며 검증된 근접 전계 측정 시스템과 비교하여 검증하였다.

Abstract In this paper, we designed and verified a Far-field measurement system for measuring the performance of an antenna operating in millimeter wave(W-band). For the antenna test, a measurement system should be selected according to the type of antenna, measurement items, measurement environment and period, etc. In the case of near-field measurement, it takes a lot of time because the number of measurement items increases when the antenna has multiple channels or various beams. Such an antenna can reduce the measurement time through Far-field measurement, and only necessary measurement items can be measured. Therefore, this study secured precise alignment of the far-field measurement system using a high-power laser and improved the measurement accuracy by applying a double amplifier system. The designed system was built in the anechoic chamber and verified by comparison with the verified Near-field measurement system.

Key Words : Antenna test, Far-field measurement, Millimeter-Wave

*정회원, LIG넥스원(주)

**정회원, 한국표준과학연구원

***정회원, 국방과학연구소

접수일자 2022년 3월 23일, 수정완료 2022년 4월 3일
게재확정일자 2022년 4월 8일

Received: 23 March, 2022 / Revised: 3 April, 2022 /

Accepted: 8 April, 2022

*Corresponding Author: jonggyun.baek2@lignex1.com

Dept. Microwave and Antenna R&D, LIG Nex1 CO., Ltd, Korea.

I. 서 론

최근 고해상도 소형 레이더, 무선 대용량 통신 시스템, 5G 이동 통신에 대한 개발 흐름에 따라 밀리미터파 기술이 발전하고 있다. [1][2][3][4] 이에 따라 정확하고 빠른 시간에 측정 할 수 있는 안테나 측정 시스템이 요구되고 있으며 측정 시스템 개발이 활발히 진행되고 있다. [5][6][7] 안테나 성능 측정은 크게 원-전계(Far-field) 시험과 근접전계(Near-field) 시험으로 구분할 수 있으며 안테나의 구조, 용도, 측정 항목, 측정 환경 및 기간 등을 고려하여 적합한 측정 시스템으로 측정하여야 한다. 주파수가 높은 대역일 경우, 안테나의 크기가 커질수록 측정 최소 거리($2D^2/\lambda$)가 커지기 때문에 근접전계 시험을 통해 많이 수행되어 왔다. [8] 하지만 근접전계 측정은 안테나에서 3~10λ 떨어진 2차원 평면의 전계분포를 측정하여 푸리에 변환으로 방사패턴을 얻기 때문에 안테나가 많은 채널을 포함하고 물리적 빔 조향 측정이 필요한 경우, 각 경우에 대하여 근접전계 시험을 진행하여야 한다. 따라서 측정 항목이 많은 안테나의 경우 측정 시간이 매우 길어지게 되므로 측정 시간을 단축 할 수 있는 원-전계 시스템이 요구된다. W대역 원-전계 시스템 개발을 위해서는 정밀한 측정 환경 개발이 필요하며 100GHz의 경우 파장이 약 3 mm에 불과하기 때문에 정밀 측정을 위해서는 정밀한 계측기, 안정화된 측정환경, 숙련된 측정 인력, 표준화된 측정절차 등의 요소가 갖추어졌을 때 가능하다. [9][10]. 이러한 밀리미터파 측정 환경에서 정밀한 정렬과 신호의 크기 및 위상이 안정적이지 못할 경우, 최대 1 dB 이상의 측정 불확도가 예상되므로 본 연구에서는 W대역 안테나 성능 측정을 위해 측정 불확도가 낮은 측정 시스템을 설계하고 정밀한 계측 장비를 확보하여 연구를 수행하였다.

본 논문에서는 밀리미터파 W대역에서 안테나 성능 측정 할 수 있는 원-전계 측정 시스템을 구축하고 검증하였다. 먼 거리에서의 안정된 신호 구현을 위해 이중 증폭기를 적용하였으며, 정밀한 정렬은 고출력 레이저를 이용한 정렬 방안을 적용하였다. 또한 측정 시스템을 구성하는 VNA extender, 로터리 조인트, positioner에 대하여 각각의 성능 시험을 통해 정밀한 계측 장비를 확보하여 측정 시스템을 구현하였다. 구현된 원-전계 측정 시스템은 검증된 근접전계 측정 시스템과 안테나 방사패턴을 측정/비교하여 유효성을 확인하였다.

II. 본 문

1. 측정 시스템 구조

설계된 측정 시스템은 안테나 장착과 측정을 위한 Positioner, W대역 송신 기준 혼 안테나, 안테나 S21 측정을 위한 VNA(Vector Network Analyzer), W대역 주 파수 상향을 위한 VNA Extender, Positioner 회전을 위한 로터리 조인트, VNA의 LO 신호를 증폭하는 구조로 구성되며 그림 1에 나타내었다. 송신 기준 혼 안테나는 VNA를 통해 증폭된 LO신호와 IF신호를 통해 W대역 신호를 생성하여 송신하고 측정 안테나로 입사되는 신호는 VNA extender의 믹서 모듈을 이용하여 중간 주파수(IF) 신호로 하향 후 VNA의 IF 포트에 입력되어 안테나 방사패턴을 측정하게 된다. 측정 시스템의 측정 불확도를 낮추기 위해서는 각 구성에 대한 검증이 필요하며 각 절에서 증폭기 구조, VNA extender, Positioner, 로터리 조인트에 대한 검증을 서술하였다.

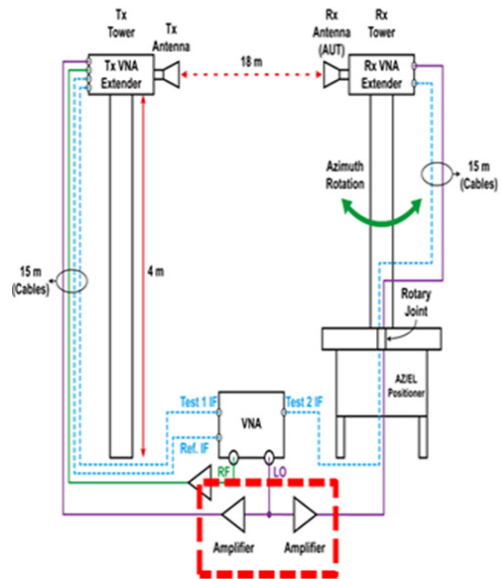


그림 1. 이중 증폭기 측정 시스템 구조
Fig. 1. Balanced Amplifier measurement system

2. 증폭기를 적용한 측정 시스템 설계

본 연구에서는 약 18m 이상의 최소 이격 거리(Far-field 조건)가 필요한 밀리미터파 W대역의 고 이득 안테나 측정으로 시스템을 검증하였다. 따라서 VNA를 이용한 S21 측정을 위해서는 LO 신호를 15m 이상 전송하고 위상을 동기화 할 수 있는 방법이 필요하다. 따라서

증폭기를 적용한 시스템 구성이 필요하며 본 연구에서는 신호의 안정성 확보를 위해 Rx 경로에 단일로 증폭기를 적용한 경우와 Rx/Tx 이중 증폭기를 적용한 경우를 비교하여 측정 시스템에 적용하였다. 그림 2는 단일 증폭기와 이중 증폭기 측정 시스템 구성도를 나타낸다.

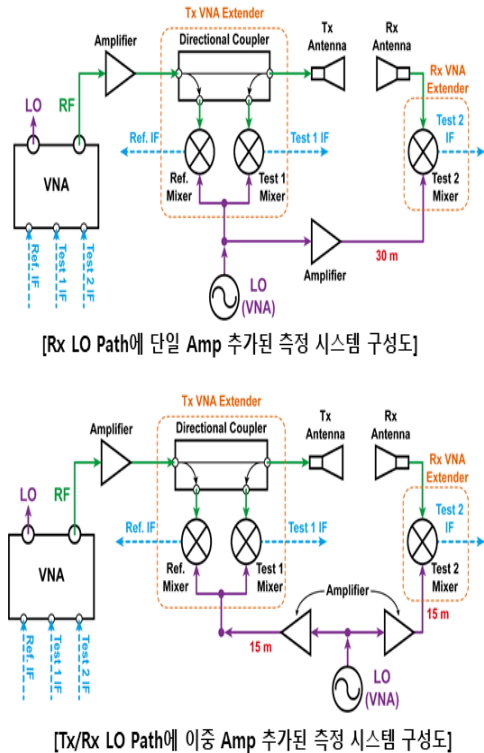


그림 2. 단일 및 이중 증폭기 시스템 구성도
 Fig. 2. Single and Balanced Amplifier measurement system

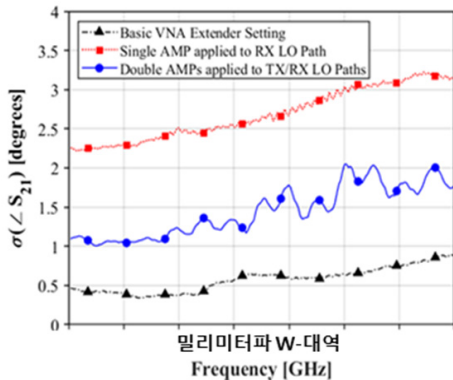


그림 3. 증폭기 적용에 따른 측정 시스템 위상표준편차
 Fig. 3. Measurement system phase standard deviation according to amplifier application

증폭기 구성에 따른 시스템 성능 분석을 위해 각각의 측정 시스템의 위상표준편차를 측정하였으며 그림 3은 S21을 측정할 측정 편차를 나타낸다. 증폭기가 없이 구성된 S21 신호를 기준으로 하였을 때 수신단의 단일 증폭기 추가 구성의 경우, S21 표준 편차가 커지지만 송/수신 단계 이중 증폭기 구성의 경우 S21 표준 편차가 감소하여 기준 S21 신호에 근접하는 것을 확인 할 수 있다. 따라서 송수신 양단의 LO 신호 전송경로의 경로 손실을 보상하고 균형적으로 증폭기를 사용하는 구조를 적용하였다.

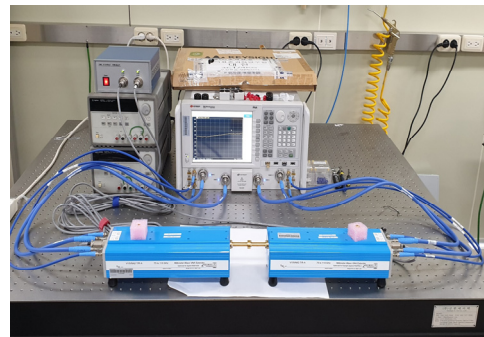


그림 4. W대역 VNA Extender 위상 정확도 확인 시험
 Fig. 4. W-Band VNA Extender Phase Accuracy Verification Test



그림 5. 14시간 관측된 위상 정확도 확인 시험 결과
 Fig. 5. 14-hour observed phase accuracy verification test result

3. VNA extender 위상 안정도 시험

밀리미터파 W대역 측정을 위해서는 VNA로부터 LO 신호를 받아 VNA extender를 통해 주파수를 W대역으로 상향하여야 한다. 따라서 VNA extender 연결 시, 위상 안정도를 우선 평가하여야 하며 그림 4와 같이 VNA extender 위상 안정도 시험을 구성하여 진행하였다. 측

정한 S21 위상의 시간에 따른 drift 분석 결과, 14시간의 관측 시간 동안 전 주파수 범위 내에서 2도 내에서 위상이 변화하는 것을 확인하였다. 그림 5는 위상을 14시간 관측한 측정 결과를 나타낸다.

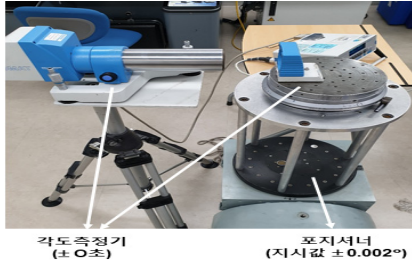


그림 6 positioner 성능 측정
Fig. 6. Positioner performance measurement

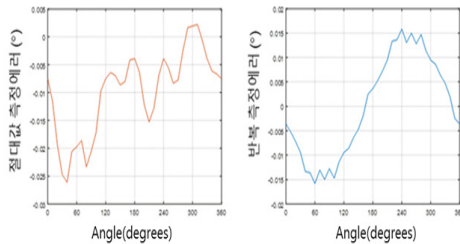


그림 7. positioner 성능 측정 결과
Fig. 7. Positioner performance measurement results

4. positioner/로터리 조인트 성능 검증 시험

본 연구에서 측정 할 안테나는 빔폭이 좁고 모노펄스 신호 생성한다. 모노펄스 신호 측정은 차 채널의 패턴을 정밀하게 측정하여야하기 때문에 시스템을 구성하는 positioner와 로터리 조인트의 성능 검증이 필수적이다. 모노펄스 신호를 정밀하게 측정하기 위해서는 0.05도 단위의 측정이 필요하기 때문에 positioner의 각도 정확도와 반복성을 한국표준과학연구원이 보유한 각도 측정기를 이용하여 positioner의 성능을 검증하였다. 그림 6과 같이 초 단위의 정밀도로 측정 할 수 있는 각도 측정기를 이용하여 모든 각도에 대해 반복성 시험을 진행하였다. 측정결과, 0.03도의 편차가 발생하는 것을 그림 7에서 확인하였다. 그림 8은 로터리 조인트를 이용해 구성된 측정시스템에 대해 특정 지향 각도를 100회 이상 반복하여 측정한 결과이며, 반복에 따라 위상의 편차가 크게 발생하는 것을 확인하였다. 따라서 위상 편차 반복도 향상을 위해 로터리 조인트 정착성을 높여주는 추가적인 어댑터 제작하여 적용하였다. 그림 9는 어댑터 적용 전/후

에 대하여 로터리 조인트의 S21 손실을 비교한 결과이다. 기존 로터리 조인트는 반복도 뿐만이 아니라 S21 손실도 크지만, 어댑터가 적용된 로터리 조인트는 약 0.6 dB의 양호한 손실 특성을 가지는 것을 확인하였다.

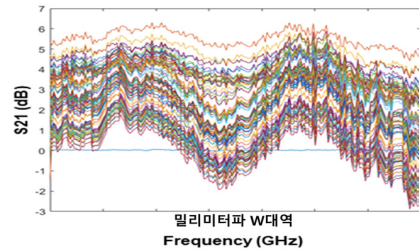


그림 8. 어댑터 적용 전 로터리 조인트 측정 결과
Fig. 8. Rotary joint measurement results before adapter application

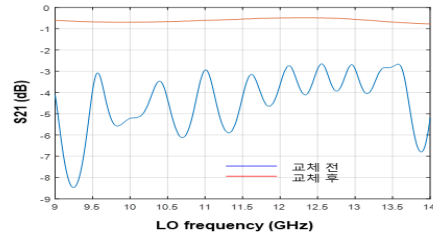


그림 9. 어댑터 적용 전/후 로터리 조인트 측정 결과
Fig. 9. Rotary joint measurement results before/after adapter application

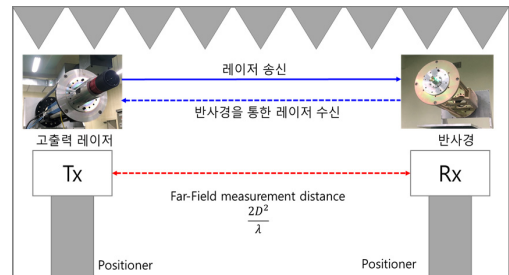


그림 10. 고출력 레이저를 이용한 정렬 방안
Fig. 10. Alignment method using high-power laser

5. 고출력 레이저를 이용한 정렬 방안

원-전계 측정 최소 거리가 매우 길기 때문에 송신 안테나와 측정 할 안테나의 정밀한 정렬이 요구된다. 따라서 고출력 레이저를 이용한 정렬 방안은 제안하고 적용하였다. 그림10과 같이 송신 마스터에 고출력 레이저를 장착하고 수신 마스터에 반사경을 설치한다. 레이저 송신 신호가 반사경 직경 30.0 mm 안으로 조사되도

록 수신 마스터 정렬을 조정하고 반사경을 맞고 반사되는 레이저 신호가 다시 송신 마스터 중심에 오도록 송신 마스터 정렬을 조정한다. 반사경을 맞고 다시 조사된 신호가 마스터 중심 10.0 mm 이내로 조사 되면 0.03도 이내로 송/수신 안테나의 정렬을 정밀하게 맞출 수 있다.

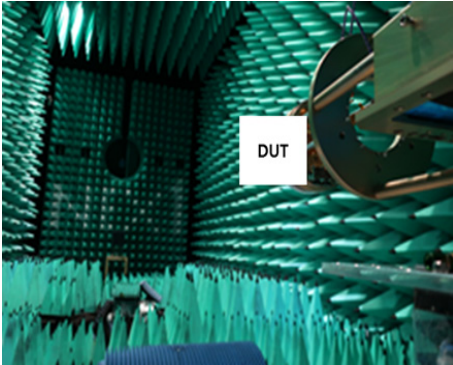


그림 11. 원-전계 측정 시스템 안테나 성능 시험
 Fig. 11. Far-field measurement system antenna performance test

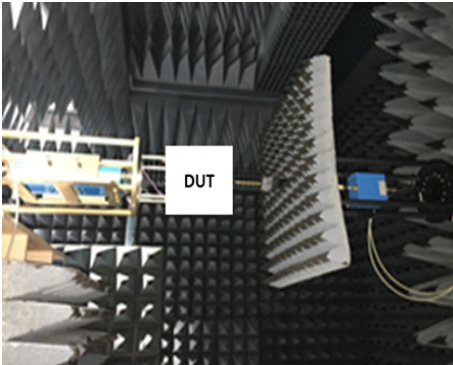


그림 12. 근전전계 측정 시스템 안테나 성능 시험
 Fig. 12. Near-field measurement system antenna performance test

III. 검증 결과

최종 설계된 측정 시스템은 24.0 m × 12.0 m × 12.0 m 크기의 무반향 챔버에 구축하였고, 그림 11에서 확인할 수 있으며 그림 12는 급전전계 측정을 나타낸다. 제작된 측정 시스템의 성능을 확인하기 위하여 W대역 표준 혼 안테나와 최소 이격 거리가 18 m 필요한 개구면이 큰 모노필스 안테나를 사용하였다. 그림 13과 14에서 표준 혼 안테나의 H/E-Plane 방사패턴을 근접전계와 비

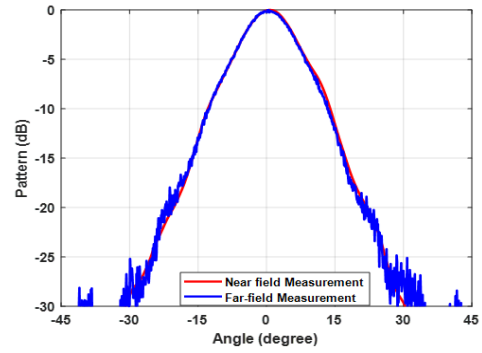


그림 13. W대역 표준 혼 안테나 방사패턴 측정 결과 비교(H-plane)

Fig. 13. Comparison of measurement results of standard horn antenna radiation pattern(H-plane)

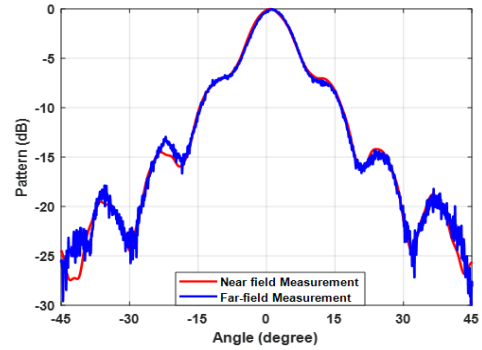


그림 14. W대역 표준 혼 안테나 방사패턴 측정 결과 비교(E-plane)

Fig. 14. Comparison of measurement results of standard horn antenna radiation pattern(E-plane)

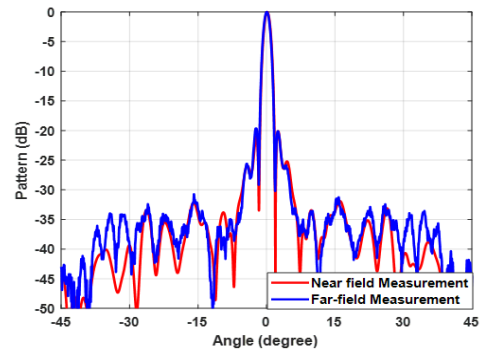


그림 15. 합 채널 안테나 방사패턴 측정 결과 비교

Fig. 15. Comparison of measurement results of sum channel antenna radiation pattern(±45deg)

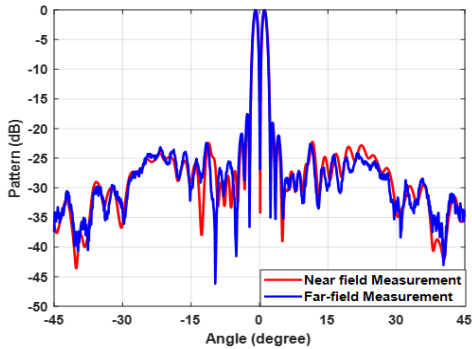


그림 16. 차 채널 안테나 방사패턴 측정 결과 비교
Fig. 16. Comparison of measurement results of δ channel antenna radiation pattern(± 45 deg)

교하여 나타내었고 수신 감도 영향으로 리플이 나타나지만 전반적으로 유사함을 확인하였다. 또한 본 연구에서는 안테나가 여러 채널을 가지고 다수의 패턴 형상을 측정하여야 하는 환경에서 측정 시간 단축을 확인하기 위해 모노펄스 안테나의 합/차 채널을 측정하였다. 측정은 동작 주파수의 중심에서 -45 도 \sim $+45$ 도 각도에서 0.1도 단위로 측정하였으며 측정 항목인 합/차 방사 패턴에 대해서 근접전계 측정 시스템과 비교하였다. 그림 15와 16은 비교 결과를 나타내며 측정 시스템별 이득 편차는 0.5 dB 이하, 첫 번째 부엽 준위 편차는 1 dB 이내이며, 차 패턴 방사패턴의 널 위치 차이는 0.1도 이내로 근접 전계 측정 시스템과 유사함을 확인하였다. 근접전계 측정과 원-전계 측정의 측정 시간을 비교하였을 때, 동일한 직경 안테나를 기준으로 하나의 측정 항목에 대하여 근접 전계 측정은 약 2시간에서 3시간정도 소요되고 원-전계 측정은 약 1/4정도인 30분 이내 소요됨을 확인하였다. 근접 전계 측정의 경우, 측정 항목이 증가 할수록 측정 시간은 크게 늘어나게 되기 때문에 측정 시간이 주요한 안테나의 경우, 제한한 원-전계 측정 시스템을 통해 측정 시간을 단축 할 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 밀리미터파 안테나 성능 시험을 위한 원-전계 측정 시스템을 구축하였다. 구축된 측정 시스템의 정렬은 고출력 레이저를 통해 0.03도 이내의 정렬을 확보하였고, 이중 증폭기를 적용하여 2도 이내 위상 측정 정확도를 향상시켰다. 또한 근접전계 대비 측정 시간을 약 4배의 시간을 단축하여 다수의 채널과 측정 항목

을 가지는 안테나 측정에 용이 할 것으로 판단된다.

제한한 원-전계 측정 시스템은 W대역 안테나 방사 패턴을 한국표준과학연구원의 검증된 근접전계 측정과 비교하여 유사함을 확인함으로써 밀리미터파 대역의 안테나 성능 측정에 활용될 수 있음을 확인하였다.

References

- [1] N. C. Currie, C. E. Brown, "Principles and Applications of Millimeter-wave Radar", Artech House, pp. 519-559, 1987.
- [2] Jin-Kyu Choi, Han-Chun Ryu, Seung-Wook Park, Ji-Hyun Kim, Jun-Beom Kwon, "A development of the High-Performance Signal Processor for the Compact Millimeter Wave Radar", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC), Vol. 17, No. 6, pp. 161-167, December 2017. DOI: <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2017.17.6.161>
- [3] Youngwan Kim, Junbeom Kwon, Yeonduk Kang, Jongkuk Park, "Array Configuration Analysis of Ka-Band Phase Array Antenna", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC), Vol. 19, No. 3, pp. 141-147, June 2019. DOI: <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2019.19.3.141>
- [4] Ju-Heun Lee, Hyo-Chul Kim, Heung-Rae Cho, Deok-Jae Lee, Se-Hwan An, Man-Hee Lee, Ji-Han Joo, Hong-Rak Kim, "Design and Fabrication of 200W SSPA in Ka-band", Journal of KIIT. Vol. 20, No. 2, pp. 79-88, February 2022. DOI: <https://doi.org/10.14801/jkiit.2022.20.2.79>
- [5] Ju-Hang Sohn, In-Sung Han, Duck-Joong Kim, "A Study on Rotation Method Applying Slip-ring of Direction Finding Antenna Mast for Mobile Radio Wave Measurement System", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society. Vol. 18, No. 10, pp. 499-504, October 2017. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.10.499>
- [6] A. G. Repjar, D. P. Kremer, "Accurate evaluation of a millimeter wave compact range using planar near-field scanning", IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 30, no. 3, pp. 419-425, May. 1982.
- [7] G. Jang, S. Park, H. Keum, S. Choi, and G. Kim, "Antenna measurement system for 5G application", 2018 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP 2018), Oct. 23-26, 2018 / Paradise Hotel Busan, Busan, Korea.
- [8] Kook Joo Lee, Chae-Hyun Jung, Jong-Gyun Baek, Chang-Hyun Park, Sangwook Nam, "Design of Dual-Polarized Monopulse Cassegrain Antenna for W-Band Millimeter-Wave Seeker", The JOURNAL OF KOREAN INSTITUTE OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE. Vol. 27, No. 3, pp. 261-268, Mar 2016.

DOI : <https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2016.27.3.261>

- [9] Jin-Seob Kang, No-Woen Kang, David G. Gentle, Katherine MacReynolds, Michael H. Francis, "Intercomparison of Standard Gain Horn Antennas at W-Band", IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT. Vol. 60, No. 7, pp 2627-2633, July 2011.
- [10] No-Woen Kang, Jae-Yong Kwon, Chihyun Cho, Jeong-Il Park, "Measurement System for Millimeter-Wave Antennas with Distributed External Local Oscillators and Mixers", IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT. Vol. 68, No. 6, pp 1967-1972, June 2019.

저 자 소개

백 종 균(정회원)



- 2011년 2월 : 동국대학교 전자공학과(공학사)
- 2013년 8월 : 동국대학교 전자전기공학과(공학석사)
- 2013년 4월 ~ 현재 : (주)LIG넥스원 선임연구원
- 주 관심분야 : 안테나 설계 및 수치 해석

황 인 준(비회원)



- 2013년 2월 : 연세대학교 전기전자공학부(공학사)
- 2015년 8월 : 한국과학기술원 전기및전자공학부(공학석사)
- 2019년 8월 : 한국과학기술원 전기및전자공학부(공학박사)
- 2019년 9월 ~ 현재 : 한국표준과학연구원 선임연구원
- 주 관심분야 : 전자파 측정 표준, 초고주파 및 밀리미터파 안테나 측정 시스템

조 치 현(비회원)



- 2004년 2월 : 홍익대학교 전자전기계어공학과(공학사)
- 2006년 2월 : 홍익대학교 전파통신공학과(공학석사)
- 2009년 2월 : 홍익대학교 전자정보통신공학과(공학박사)
- 2009년 2월 ~ 2012년 5월 : 삼성탈레스 전문연구원
- 2012년 6월 ~ 현재 : 한국표준과학연구원 책임연구원
- 주 관심분야 : 전자파 측정 표준, 초고주파 회로 및 안테나 설계

주 정 명(정회원)



- 2011년 2월 : 홍익대학교 전자전기공학과(공학사)
- 2013년 3월 : 홍익대학교 전자정보통신공학과(공학석사)
- 2013년 1월 ~ 현재 : (주)LIG넥스원 선임연구원
- 주 관심분야 : 수동 및 능동 위상 배열 안테나, 레이더 시스템

주 지 한(정회원)



- 2002년 8월 : 충북대학교 전파공학과(공학사)
- 2004년 8월 : 광운대학교 전파공학과(공학석사)
- 2008년 8월 : 광운대학교 전파공학과(공학박사)
- 2008년 7월 ~ 현재 : (주)LIG넥스원 수석연구원
- 주 관심분야 : 마이크로웨이브 탐색기, 초고주파 회로 및 시스템

박 중 국(정회원)



- 1995년 2월 : 서울대학교 전자공학과(공학사)
- 1997년 2월 : 서울대학교 전자공학과(공학석사)
- 2001년 8월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부(공학박사)
- 2001년 11월 ~ 현재 : (주)LIG넥스원 수석연구원
- 주 관심분야 : 능동 위상 배열 안테나 시스템, 다기능 레이더 시스템, 적응형 빔 형성 및 전자파 수치 해석 등

김 재 식(비회원)



- 2011년 2월 : 광운대학교 전파공학과(공학사)
- 2017년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과(공학박사)
- 2017년 1월 ~ 현재 : 국방과학연구소 선임연구원
- 주 관심분야 : 고출력 안테나, 배열 안테나 시스템 설계

김 소 수(비회원)



- 1993년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2014년 2월 : 충남대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1996년 1월 ~ 현재 : 국방과학연구소 책임연구원

- 주 관심분야 : 초고주파 시스템