

# 반사배열 안테나를 이용한 W대역 모노펄스 추적 시스템에 관한 연구

## A Study on W-Band Monopulse Tracking System using Reflectarray Antenna

송혜주\*, 고슬기\*, 김기철\*\*, 표성민\*\*\*★

Hyejoo Song\*, Seulgi Ko\*, Kichul Kim\*\*, Seongmin Pyo\*\*\*★

### Abstract

In this paper, we proposed a new W-band monopulse tracking system based on reflectarray antenna structure. The proposed reflectarray antenna monopulse tracking system consists of four feed horn antennas and a planar reflector using a microstrip reflectarray. The four feed horn antennas have a gain of 10 dBi and a half-power beam-width of 56 degrees symmetrically in the E/H plane. It was confirmed that the reflectarray antenna using one feed horn antenna has a size of  $41.8 \times 41.8 \text{ mm}^2$ , a gain of 26.8 dBi, and a half-power beam-width of about 5.6 degrees. The reflectarray monopulse tracking system using 4 feeding horn antennas is well matched from 75 GHz to 90 GHz, and the isolation is secured by more than 10 dB. Finally, the proposed system shows the tracking range of 5.98 degrees and the tracking error range was 0.02 degrees.

### 요약

본 논문에서는 반사배열 안테나 구조를 이용한 W대역 모노펄스 추적 시스템을 제안하였다. 제안한 반사배열 안테나 모노펄스 추적 시스템은 단일 반사 방식의 4개의 급전 혼 안테나와 마이크로스트립 반사배열을 이용한 평판형 반사판으로 구성된다. 4개의 급전 혼 안테나는 10 dBi의 이득, E/H평면에서 대칭적으로 56도 반치각을 가지고 있다. 1개의 급전 혼 안테나를 사용한 반사배열 안테나는  $41.8 \times 41.8 \text{ mm}^2$ 의 크기로, 26.8 dBi의 이득과 약 5.6도의 반치각 빔폭을 가지고 있다. 4개의 급전 혼 안테나를 사용한 반사배열 모노펄스 추적 시스템은 75 GHz에서 90 GHz까지 정합되어 있으며, 각 안테나 사이의 격리도는 10 dB 이상 확보되어 있다. 또한 전파신호의 추적범위는 5.98도를 가지고 있으며, 추적오차범위는 0.02도임을 확인하였다.

*Key words : Monopulse, Tracking System, W-band, Reflectarray, Reflector Antenna*

\* Master degree student, Dept. of Information and Communication Engineering, Hanbat National University

\*\* Senior Researcher, Defense Space Technology Center, Agency for Defense Development (ADD)

\*\*\* Associate Professor, Dept. of Information and Communication Engineering, Hanbat National University

★ Corresponding author

E-mail : spyo@edu.hanbat.ac.kr, Tel: +82-42-821-1202

※ Acknowledgment

This work was supported by the Agency for Defense Development (ADD) under Grant UD200019ED.

Manuscript received Mar. 2, 2022; revised Mar. 17, 2022; accepted Mar. 18 2022.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

75 GHz에서 110 GHz을 구성하는 W대역은 5세대 밀리미터파 이동통신 이후 6세대 이동통신의 준테라헤르츠파 후보대역으로 각광을 받고 있다[1-3]. 이러한 W대역의 전파특성은 밀리미터파에 비해 직진성이 강하며, 짧은 파장으로 인하여 큰 경로손실을 갖는다. 이러한 경로손실을 보상하기 위하여, W대역 안테나는 높은 이득을 갖는 전기적 대형 파라볼릭 반사판 안테나가 이용된다. 종래의 포물곡면을 가지는 파라볼릭 반사판은 W대역의 짧은 파장으로 인해, 매우 세밀한 공정이 필요한 단점이 있다. 또한 높은 이득의 반사판 안테나는 협소한 반치각을 발생하여, 송신부와 수신부가 정확하게 정렬이 되지 않으면, 즉, 정밀한 송수신기 사이의 LOS(line of sight)가 확보되지 않으면 송수신기간 통신이 이루어지지 않는다.

본 논문에서는 이러한 W대역의 반사판 안테나의 공정의 용이성과 좁은 빔폭으로 발생하는 송수신기 사이의 안테나 정렬을 보정하기 위한 반사배열(reflectarray) 안테나를 이용한 모노펄스 추적 시스템을 제안하였다. 반사배열 안테나는 평면의 마이크로스트립 구조로 이루어져 공정이 용이하고[4], 또한 송수신기 사이의 정확한 위치를 추적하기 위한 모노펄스 추적이 가능하며 W대역 빔정렬 기능을 수행할 수 있다[5]. 제안하는 반사배열 안테나 모노펄스 추적 시스템은 이어지는 절에서 구체적으로 기술하겠다.

II. 반사배열 안테나 시스템 설계

그림 1은 본 논문에서 제안하는 반사배열 안테나 모노펄스 추적 시스템의 구조도이다. 반사배열은 유전율 2.2, 두께 0.254 mm의 유전체 기판에 80 GHz의 약 반파장에 해당하는 1.9 mm 단위 반사소자를 기반으로 설계되었다. 반사배열의 전체크기는 가로와 세로가 모두 80 GHz의 파장의 22배의 크기를 갖는 41.8 mm의 정사각형 유전체 기판에 373개의 단위 반사소자를 이용하였다. 반사소자는 0.1 mm에서 1.7 mm까지 범위에서 10 종류의 정사각 마이크로스트립 반사체 단위소자로 구성되었다. 반사배열과 급전 혼 사이의 거리는 초점거리인 혼 안테나의 개구면을 기준으로 37 mm에 위치하였다. 또한 제안한 반사배열의 illumination 및 spill-over 손실을 최소화하였다.

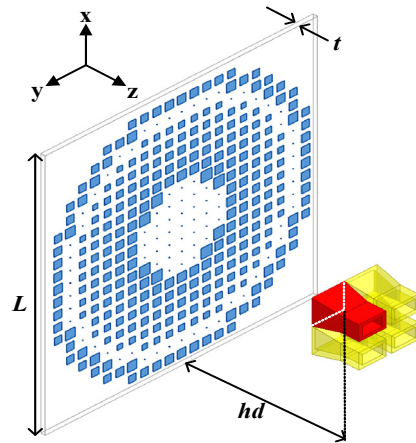


Fig. 1. Configuration of the proposed reflectarray antenna monopulse tracking system.

그림 1. 제안한 반사배열 안테나 모노펄스 추적 시스템

그림 2는 제안한 안테나의 급전으로 사용한 혼 안테나의 구조와 특성을 도식한 것이다. 급전 혼의 반사계수는 분석 주파수대역에서 모두 -10 dB이하로 잘 설계되었으며, 80 GHz의 E/H평면에서 좋은 대칭적인 방사패턴을 가지고 있다. 혼 안테나의 이득은 약 9.7에서 11.1 dBi로 변화하며, 80 GHz에서 10 dBi를 갖도록 설계하였다. 또한 반치각은 E/H평면 모두에서 약 56도로 설계되었음을 알 수 있다.

그림 3은 1개의 혼 안테나를 사용하여 반사배열 안테나 시스템의 특성을 분석한 결과를 도식한 것이다.

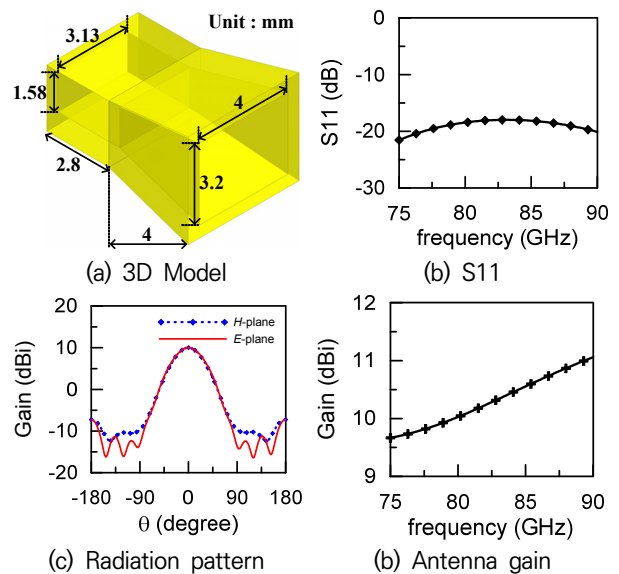


Fig. 2. Geometry and electrical characteristic of the feed pyramidal horn antenna.

그림 2. 급전 혼 안테나의 구조와 특성

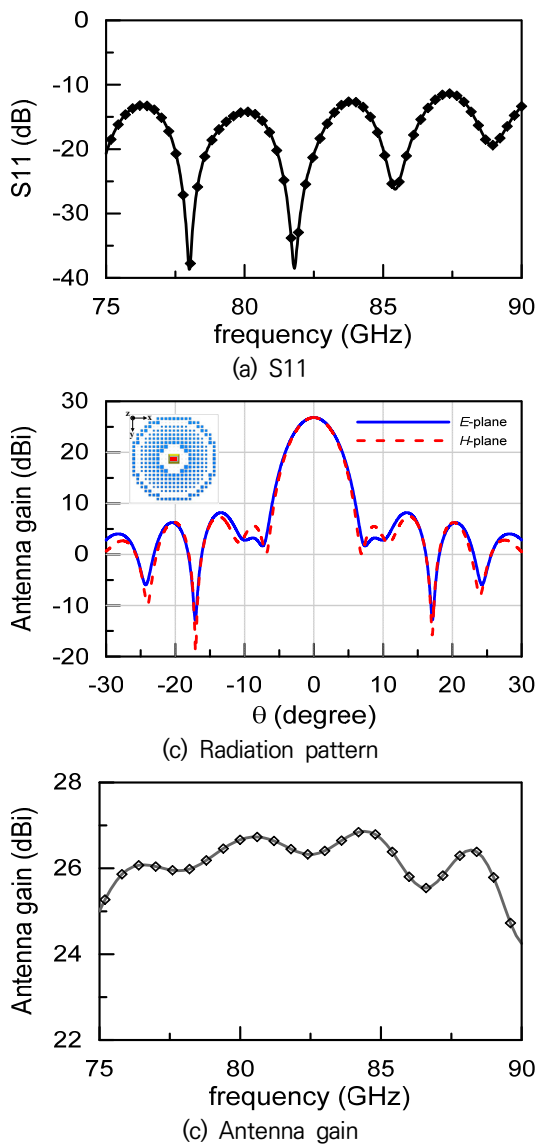


Fig. 3. Electrical and radiation performance of the single horn-fed reflectarray antenna at 80 GHz.

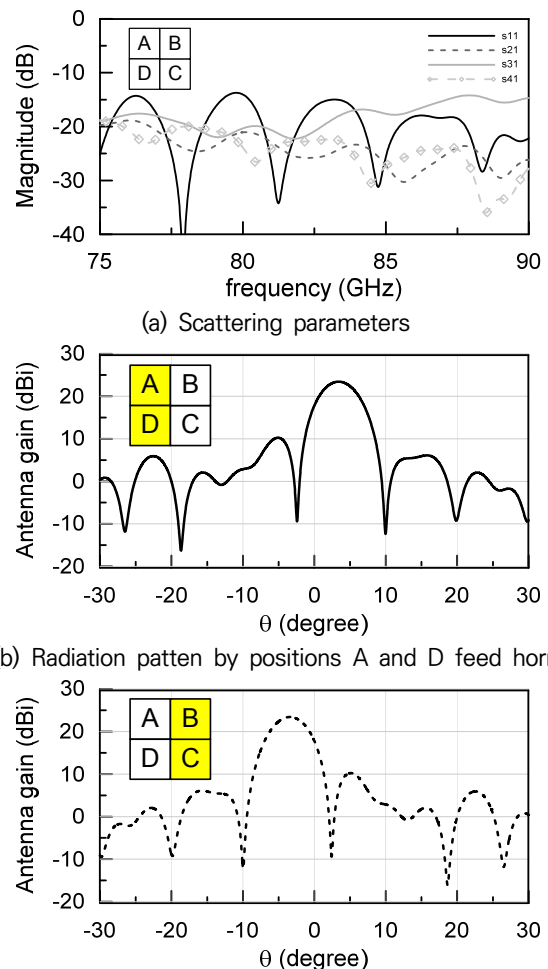
그림 3. 단일 혼 급전을 이용한 80 GHz 반사배열 안테나 특성

제안한 반사배열은 단일 혼 안테나를 사용하였을 때, 반사계수는 75 GHz에서 90 GHz까지 -10 dB이하로 잘 동작하고 있으며, 방사패턴은 급전 혼 안테나의 빔 대칭성으로 인하여, E/H평면에서 방사패턴이 유사하게 형성되며, 반치각은 약 5.6도임을 확인하였다. 또한 80 GHz를 중심으로 설계된 반사배열 안테나는 75 GHz에서 90 GHz까지 약 24 dBi 이상의 이득을 확보하였으며, 80 GHz에서 26.8 dBi의 이득을 보여주었다.

### III. 모노펄스 추적 시스템 특성 분석

그림 4는 반사배열에 혼 안테나 위치에 4개의 혼 안테나를 이용하여, 모노펄스 추적 시스템을 구현하고, 이에

대한 전기적 성능을 분석한 결과를 도식한 것이다. 4개의 급전 혼 안테나는 임의의 공간에서 상부와 하부 사이의 위치 추적 및 좌부와 우부 사이의 위치 추적을 위해 사용되는 신호를 추출할 때 이용된다. 안테나의 위치는 중심에서 E평면으로  $\pm 1.6$  mm, H평면으로  $\pm 2.5$  mm 이격시켰다. 각각 안테나는 안테나 단면적을 기준으로 1사분면부터, 4사분면에 위치한 안테나를 각각 BACD로 명명하였다. S11은 안테나의 반사계수를 나타내며, 급전 혼 안테나는 잘 정합되어 있음을 알 수 있다. S21부터 S41은 안테나 사이의 격리도를 나타내며, 10 dB 이상의 높은 격리도가 확보되었음을 확인할 수 있다.



(a) Scattering parameters

(b) Radiation pattern by positions A and D feed horn

(c) Radiation pattern by positions B and C feed horn

Fig. 4. Characteristics of the multiple horn-fed reflectarray antenna monopulse tracking system at 80 GHz.

그림 4. 멀티 혼 급전을 이용한 80 GHz 반사배열안테나 모노펄스 추적 시스템 특성

그림 5는 그림 4에서 도식한 ABCD 위치에서 급전 혼 안테나에서 수신한 전력을 모노펄스 추적을 위해 E-평면 상의 방사패턴 합(S)과 차(D) 신호와 모노펄스 성능을 나

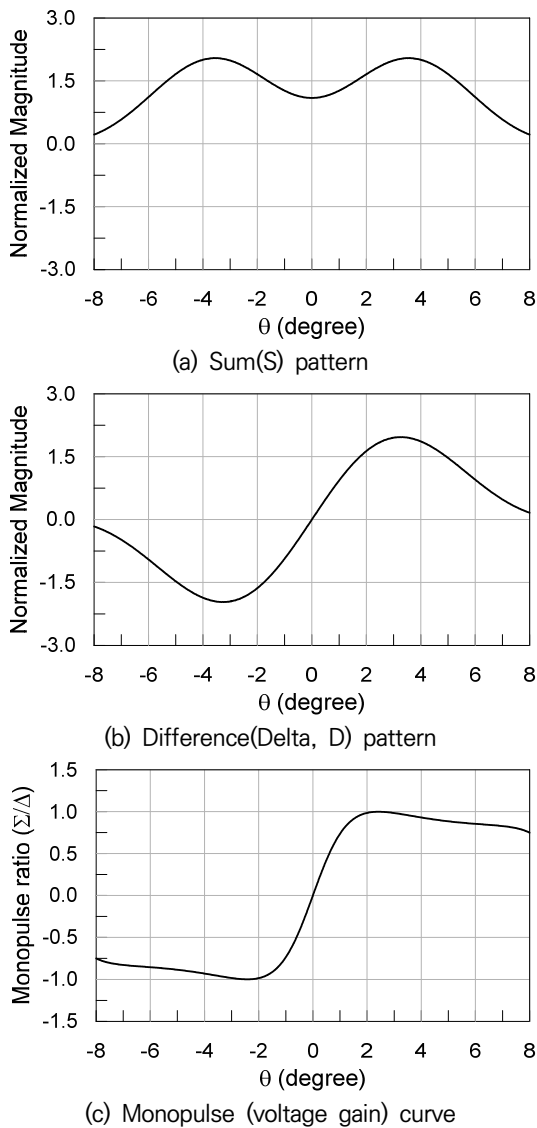


Fig. 5. Monopulse tracking performances of the proposed reflectarray antenna at 80 GHz.

그림 5. 제안한 반사배열 안테나 80 GHz 모노펄스 추적 성능

타내는 모노펄스 기울기(monopulse ratio,  $D/S$ )를 도식한 것이다. 결과에서 알 수 있듯이, 상대적으로 넓은 반사배열의 반치각 빔폭과 좁은 빔 이동범위에 의해 합패턴의 경우 중심에서 최대값을 갖지 않음을 알 수 있다. 그러나 모노펄스 기울기는  $\pm 2.49$ 도에서 선형영역으로 동작하여, 약 5.98도에서 추적범위가 형성됨을 알 수 있다. 또한 추적해상도(voltage gain resolution)는 0.02도 확인되며, 이는 추적오차범위가 0.02도 내에서 추적이 가능함을 알 수 있다. 이러한 성능은 80 GHz 중심주파수를 사용하는 W대역에서 충분한 신호의 위치 추적이 가능한 수준임을 알 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 W대역에서 동작하는 반사배열안테나를 이용한 모노펄스 추적 시스템을 제안하고, 그 성능을 분석하였다. 제안한 모노펄스 추적 시스템의 80 GHz에서 추적각도는  $-2.49$ 도에서  $+2.49$ 도까지 4.98도이며, 오차각도는 약 0.02도 임을 검증하였다. 제안한 시스템은 크기와 중량의 장점으로 고이동체의 준테라헤르츠파 안테나로 적용이 가능하다.

#### References

- [1] S. E. Hond, I. K. Kim and S. C. Bang, "Trends of Technology Developments for mmWave-based 5G Mobile Communications," *ETRI Electronics and Telecommunications Trends*, vol.28, pp.107-117, 2013. DOI: 10.22648/ETRI.2013.J.280610
- [2] A. Gregorio and F. Alimenti, "CubeSats for future science and Internet of space: Challenges and opportunities," *IEEE ICECS*, pp.169-172, 2019. DOI: 10.1109/ICECS.2018.8617947
- [3] M. Katz, P. Pirinen, and H. Posti, "Towards 6G: Getting ready for the next decade," *IEEE ISWCS*, pp.714-718, 2019. DOI: 10.1109/ISWCS.2019.8877155
- [4] B. Asamani and S. Pyo, "Reflectarray Antenna Capable of 1-Bit Switchable W-Band Beamforming Network," *Journal of IKEEE*, vol.25, no.2, pp. 408-411, 2021. DOI: 10.7471/ikeee.2021.25.2.408
- [5] H.-J. Kwon, Y.-J. Lee and J.-W. Jung, "A Study on 1-Channel Monopulse Receiver," *Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers*, vol.51, no.1, pp.71-76, 2014. DOI: 10.5573/ieie.2014.51.1.071