

## 빔 조향이 가능한 W-대역 광대역 저 위상 민감도 이중-반사배열 안테나 설계

Design of W-band Wideband Low Phase Sensitivity Dual-Reflectarray Antenna with Beam Steering

---

저자 (Authors)	최은철, 남상욱, 김지형, 오경현, 신상진 Eun-Cheol Choi, Sangwook Nam, Ji-Hyung Kim, Gyung-Hyun Oh, Sang-Jin Shin
출처 (Source)	<a href="#">한국정보기술학회논문지 17(4)</a> , 2019.4, 61-68(8 pages) <a href="#">The Journal of Korean Institute of Information Technology 17(4)</a> , 2019.4, 61-68(8 pages)
발행처 (Publisher)	<a href="#">한국정보기술학회</a> Korean Institute of Information Technology
URL	<a href="http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE08004817">http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE08004817</a>
APA Style	최은철, 남상욱, 김지형, 오경현, 신상진 (2019). 빔 조향이 가능한 W-대역 광대역 저 위상 민감도 이중-반사배열 안테나 설계. 한국정보기술학회논문지, 17(4), 61-68
이용정보 (Accessed)	서울대학교 147.46.66.*** 2019/11/25 14:37 (KST)

---

### 저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

### Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

# 빔 조향이 가능한 W-대역 광대역 저 위상 민감도 이중-반사배열 안테나 설계

최은철\*, 남상욱\*\*, 김지형\*\*\*<sup>1</sup>, 오경현\*\*\*<sup>2</sup>, 신상진\*\*\*\*

## Design of W-band Wideband Low Phase Sensitivity Dual-Reflectarray Antenna with Beam Steering

Eun-Cheol Choi\*, Sangwook Nam\*\*, Ji-Hyung Kim\*\*\*<sup>1</sup>, Gyung-Hyun Oh\*\*\*<sup>2</sup>, and Sang-Jin Shin\*\*\*\*

이 논문은 2018 년도 한화시스템(주)의 재원을 지원받아 수행된 연구임.

### 요 약

본 논문에서는 빔 조향이 가능하고 광대역 특성을 지닌 W-대역 저 위상 민감도 이중-반사배열 안테나를 설계하고 분석하였다. 이중 공진 소자로 이루어진 반사 소자는 설계 단계를 다섯 단계로 세분화하여 위상 민감도 수치를 최소화하였고 31°/0.1 mm의 최대 위상 민감도와 17.3°/0.1 mm의 평균 위상 민감도 수치를 도출하였다. 저 위상 민감도에 의한 반사 위상 기울기의 선형성을 통해서 반사배열 안테나의 광대역 특성을 도출하였다. 대역 내에서 36.4 dBi의 최대 이득 수치와 47.4%의 최대 개구면 효율을 얻었으며, 12GHz의 1dB 이득 대역폭을 실현하였다. 효율적인 목표물 추적을 위해 주 반사판 기울임 방식으로 빔 조향을 구현하였다. 주 반사판의 최대 빔 조향 시, 주파수 대역 86~99GHz에서 35.5dBi의 최대 이득 수치와 1dB 이득 대역폭을 도출할 수 있었다.

### Abstract

In this paper, a W-band low phase sensitivity reflectarray antenna was designed with beam steering and wideband characteristics. The unit cell made of dual resonant elements have a maximum phase sensitivity of 31°/0.1 mm and an average phase sensitivity value of 17.3°/0.1 mm by minimizing the phase sensitivities through subdividing the design method into five steps. The wideband characteristics of the reflectarray antenna was derived from the linearity of the reflection phase slope due to the low phase sensitivity. The maximum gain of 36.4 dBi and the maximum efficiency of 47.4% in bandwidth were achieved and the 1 dB gain bandwidth of 12 GHz was achieved. The beam steering was implemented by tilting the main reflector for efficient tracking of the target. The beam steering was implemented by tilting the main reflector for efficient tracking of the target. The maximum gain of 35.5 dBi and a 1 dB gain at 86~99 GHz was achieved at the maximum angle of beam steering.

### Keywords

beam scanning, low phase sensitivity, millimeter wave, reflectarray antenna, wideband

\* 서울대학교 전기정보공학부  
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1457-8757>  
\*\* 서울대학교 전기공학부(교신저자)  
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3598-1497>  
\*\*\* 한화시스템  
- ORCID<sup>1</sup>: <http://orcid.org/0000-0002-3854-3145>  
- ORCID<sup>2</sup>: <http://orcid.org/0000-0002-7715-8995>

\*\*\*\* 방위산업기술지원센터  
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0231-2994>

• Received: Nov. 29, 2018, Revised: Apr. 19, 2019, Accepted: Apr. 22, 2019  
• Corresponding Author: Sangwook Nam  
Department of Electrical and Computer Engineering, INMC, Seoul National University, 1, Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul, Korea  
Tel.: +82-2-880-8432, Email: [snam@snu.ac.kr](mailto:snam@snu.ac.kr)

## 1. 서 론

탐색기의 전천후 운용성 및 해상도 개선과 대전 자전 능력 개선을 위해 W-대역 밀리미터파 탐색기의 필요성이 대두되어 왔다. 여러 가지 추적 안테나 방식 중 특성이 우수하고 신뢰도가 높은 모노펄스 방식이 널리 이용되고 있으며, 밀리미터파 기술을 활용하여 안테나의 좁은 빔 폭과 넓은 주파수 대역을 활용하여 각도 및 거리 분해능을 향상시킬 수 있는 탐색기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [1][2].

모노펄스 반사판 안테나의 기본 구조는 이중 반사판 안테나에 다중 모드 급전 피드와 모노펄스 비교기를 적용하여 다중 채널을 통해 목표물의 위치를 추적 및 식별하게 된다[3]. 공중의 이동체에 위치한 추적용 레이다는 지상의 목표물을 효율적으로 추적하기 위하여 빔 조향 기술이 요구되며, 이러한 빔 조향 기술을 표적 추적용 레이다에서 중요한 주제가 되고 있다[4]. 따라서 이동체에 탑재된 반사판 안테나의 빔 조향을 위해서 주 반사판을 기울여서 조향하는 주 반사판 기울임 방식을 사용하고자 한다.

하지만 기존의 곡면형 도체 이중 반사판의 경우, 제안된 공간에서 활용하기에 부피가 크고 무게가 무겁다는 단점을 갖고 있다. 최근 이 같은 문제를 극복하고자 마이크로스트립 반사배열 안테나 (Microstrip Reflectarray Antenna)를 활용한 모노펄스 안테나에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[5][6]. 마이크로스트립 반사배열 안테나는 반사판 안테나와 위상 배열 안테나(Phased Array Antenna)를 합성한 기술로 곡면형 도체 반사판 안테나를 반사 소자 (Unit Cell)의 적절한 위상 보상을 통해서 평면형 반사판 안테나로 전환하는 기술이다. 곡면형 도체 반사판 안테나에 비해 무게 및 부피가 작고, 낮은 제작비용과 비교적 쉽게 제작할 수 있는 장점을 갖고 있다. 또한, 반사 소자를 통해 다양한 위상 분포를 구현함으로써 높은 효율과 다양한 형태의 방사 패턴을 얻을 수 있다[7]-[9]. 하지만 W-대역에서 광대역 안테나로 활용하기에는 대표적으로 두 가지 문제점이 있다.

첫 번째로는 반사배열 안테나를 구성하는 반사

소자는 공진 소자로서 공진 근처에서 급격한 임피던스 변화로 인해 길이 변화에 따른 위상 민감도 (Phase Sensitivity)가 악화되는 특성을 갖고 있다. 따라서 일반적인 PCB 공정으로 안테나를 제작 시, 설계하고자 하는 주파수 대역이 올라갈수록 제작 공차 및 문제에 따라서 반사 위상의 오차가 극심하게 발생할 수 있게 된다. 그러므로 고효율의 안테나 성능을 얻기 위해선 반사 소자의 낮은 위상 민감도 특성이 필수적이다. 두 번째로는 안테나를 구성하는 반사 소자의 좁은 대역 특성에 있다. 도체 반사판 안테나의 경우, 도체의 곡률을 통한 기하학적인 설계를 통해 대역폭이 무한히 넓게 되어 급전 혼에 의해서 안테나의 대역폭이 결정되게 된다. 하지만 반사배열 안테나의 경우, 반사판을 구성하는 반사 소자는 공진 소자로 구성되어 있어 대역폭이 매우 좁은 단점을 가지고 있다. 따라서 반사 소자의 위상 특성을 조절하여 광대역의 이득 특성을 도출해야 한다.

본 논문에서는 W-대역 모노펄스 안테나에 적용 가능한 빔 조향이 가능한 광대역 이중-반사배열 안테나를 설계하였다. 안테나를 구성하는 반사 소자는 총 다섯 단계로 설계 방식을 세분화 하여 낮은 위상 민감도 특성을 도출하였으며, 반사 위상의 선형성(linearity) 특성을 통해서 넓은 이득 대역폭 특성을 얻을 수 있었다. 또한, 주 반사판을 기울여서 조향하는 주 반사판 기울임 방식을 통해서 빔 조향과 함께 우수한 안테나의 성능을 도출 하였다.

## II. 저 위상 민감도 반사 소자 설계

그림 1은 제안된 반사 소자를 나타내고 있다.

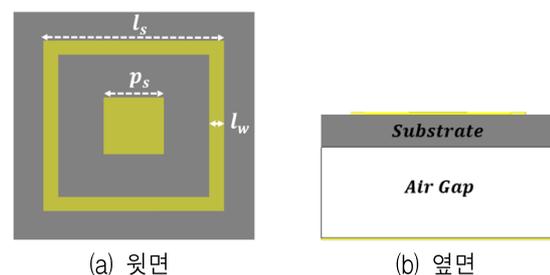


그림 1. 제안된 반사 소자의 구조

Fig. 1. Proposed unit cell configuration, (a) Top view, (b) Side view

제안된 반사 소자는 그레이팅 로브(Grating Lobe)의 발생을 막기 위해  $1.6\text{mm} (\cong 0.48\lambda_0)$ 의 주기로 설계 되었으며, 유전체 기판은 두께  $0.254\text{mm}$ 의 Duroid 5880 기판을 사용하였다.

또한, 반사 소자의 적절한 반사 위상 범위를 도출하기 위해  $0.7\text{mm}$ 의 공기층을 삽입하였다. 일반적으로 다중 공진 소자로 구성된 반사 소자는 반사 위상을 도출하기 위해 동시에 모든 소자의 길이를 움직이는 전통적인 설계 방식(Conventional Design Method)을 이용한다. 다중 공진 소자를 전통적인 설계 방식으로 변화시킬 경우, 단일 소자에 비해 임피던스 변화가 크므로 넓은 반사 위상 범위를 도출할 수 있다.

하지만 공진 근처에서 높은 임피던스 변화로 인해 소자의 길이 변화에 따른 위상 민감도 수치가 악화 된다. 저 주파수 대역의 경우, 제작 공차가 파장에 비해 매우 작으므로 높은 위상 민감도 수치에도 고효율의 성능을 도출할 수 있다. 하지만 W-대역 이상의 고 주파수 대역의 경우, 높은 위상 민감도는 제작 공차로 인해서 큰 반사 위상의 오차를 초래할 수 있게 된다. 따라서 설계하고자 하는 주파수 대역이 올라갈수록 반사 소자의 낮은 민감도 특성을 필수적으로 요구된다.

그림 2는 제안된 설계 방식(Proposed Design Method)을 나타내고 있다. 반사 소자의 위상 민감도 특성을 낮추기 위해서는 소자의 길이 변화에 따른 임피던스 변화를 최소화 시켜야 한다. 따라서 다중 공진 소자를 동시에 변화시키는 전통적인 설계 방식이 아니라, 공진 소자를 개별적으로 변화시키면서 변화 단계를 세분화하여 반사 소자의 위상 민감도 특성을 최소화 하였다. 변화 단계는 총 다섯 단계로 이루어져 있다.

첫 번째 단계는 패치를 고정시킨 상태에서 전체 루프의 폭을  $0.1$ 에서  $0.3\text{mm}$ 로 변화하여, 총  $9^\circ$ 의 위상 범위와  $2^\circ/0.1\text{mm}$ 의 최대 위상 민감도 수치를 도출하였다. 두 번째 단계는 패치를 고정시킨 상태에서 루프의 길이  $l_s$ 를  $0.5$ 에서  $1.6\text{mm}$ 로 변화하여, 총  $197^\circ$ 의 위상 범위와  $20^\circ/0.1\text{mm}$ 의 최대 위상 민감도 수치를 얻을 수 있었다. 다음 단계를 배열 소자의 공진 부근으로 설계 단계를 더욱 더 세분화 시켰다.

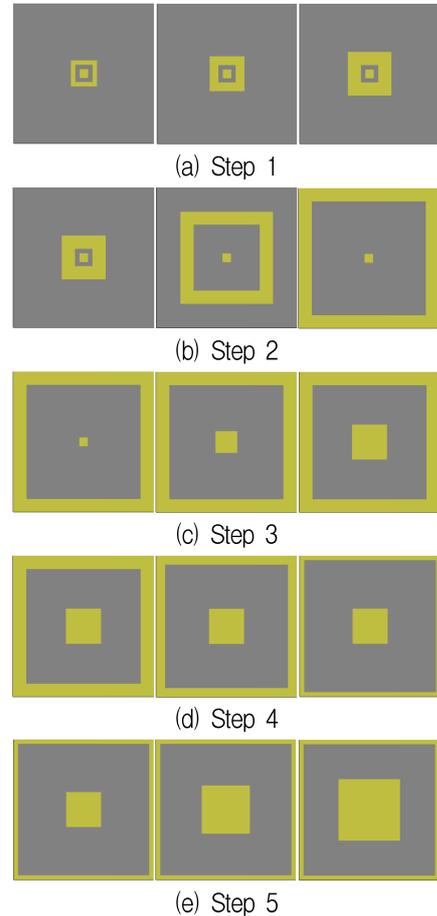


그림 2. 제안된 설계 방식  
Fig. 2. Proposed design method

세 번째 단계는 루프를 고정시킨 상태에서 패치의 길이  $p_s$ 를  $0.1$ 에서  $0.4\text{mm}$ 로 변화하여,  $27^\circ$ 의 위상 범위와  $15^\circ/0.1\text{mm}$ 의 최대 위상 민감도 수치를 얻었으며, 네 번째 단계에서는 패치를 고정시킨 상태에서 전체 루프의 폭을  $0.3$ 에서  $0.1\text{mm}$ 로 변화하여,  $61^\circ$ 의 위상 범위와  $31^\circ/0.1\text{mm}$ 의 최대 위상 민감도 수치를 도출하였다. 마지막으로 다섯 번째 단계는 루프를 고정시킨 상태로 패치의 길이  $p_s$ 를  $0.4$ 에서  $0.7\text{mm}$ 로 변화하여,  $50^\circ$ 의 위상 범위와  $10^\circ/0.1\text{mm}$ 의 최대 위상 민감도 수치를 도출하였다.

그림 3은 모든 단계가 합쳐진 위상 민감도를 나타내고 있다. 일반적으로 배열 소자의 위상 민감도는 특정 구간에서의 최대 위상 민감도 수치를 성능 지표로 확인해 왔다. 하지만 일반적으로 반사판 표면에 배치된 반사 소자는 급전 흔과의 거리에 따라서 소자의 길이가 선형적으로 변화하여 모든 길이의 반사 소자가 배치된다.

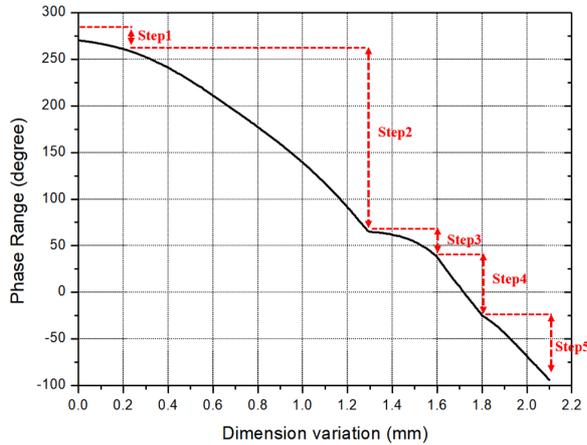


그림 3. 제안된 설계 방식의 반사 위상  
Fig. 3. Reflection phase of proposed design method

따라서 모든 구간에서 반사배열 안테나의 위상 오차를 최소화시키기 위해선 특정 구간의 최대 위상 민감도 수치뿐만 아니라 소자의 전체 길이 변화에 따른 평균 위상 민감도 수치도 성능 지표가 되어야 한다고 판단된다. 제안된 배열 소자의 위상 민감도 수치는 최대 31°/0.1mm와 평균 17.3°/0.1mm로 낮은 민감도 수치를 만족하였다.

표 1은 최근 개발된 저 민감도 반사 소자의 위상 민감도 수치를 제안된 반사 소자와 비교하였다. 최근 개발된 반사 소자의 경우, 주파수 대역이 상대적으로 낮아서 위상 민감도 수치를 1mm 단위로 도출하였다. 하지만 W-대역 이상의 고 주파수 대역의 경우, 1mm는 파장 길이에 비해 굉장히 큰 수치이므로 적절한 단위 길이로 다시 도출되어야 한다. 따라서 중심 주파수를 기준으로 0.1λ<sub>0</sub>로 최대 위상 민감도 수치를 계산하였다. 제안된 반사 소자의 위상 민감도는 최소 4에서 5배까지 개선된 수치를 도출하였다.

표 1. 저 위상 민감도 반사 소자의 비교  
Table 1. Comparison of low phase sensitivity unit cell

	This Work	[10]	[11]	[12]
Frequency band	W	Ku	X	X
Phase range (°)	375	360	423	360
Element type	double	single	double	multiple
Maximum phase sensitivity (°/mm)	310	200	180	170
Maximum phase sensitivity (°/0.1λ)	103	400	540	510

### III. 이중 반사배열 안테나의 광대역 특성

마이크로스트립 반사배열 안테나는 공진 소자의 좁은 대역 특성으로 인해 근본적으로 좁은 대역폭을 가지고 있다. 이로 인해 주파수가 중심 주파수에서 벗어날 경우, 반사 소자의 위상 오차로 인해 이득 대역폭이 대폭 감소하게 된다. 하지만 이를 극복하기 위해 주파수 변화에 따라 반사 위상의 기울기를 선형적으로 설계 하여 넓은 이득 대역폭을 도출해 왔다[13][14].

그림 4는 주파수 변화에 따른 반사 위상을 나타내고 있다. 제안된 반사 소자의 경우, 공진 부근에서의 급격한 위상 변화를 최소화 하여 위상 기울기의 급격한 변화를 방지 하였다. 따라서 기존 반사 소자들의 S-곡선(S-curve)의 위상 특성이 아닌, 주파수 변화에 따라서 선형적이고 평행한 반사 위상 특성을 도출 할 수 있었다.

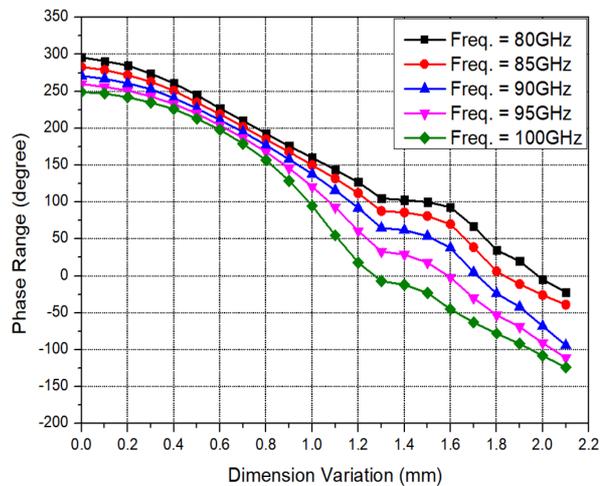


그림 4. 주파수에 따른 반사 소자의 반사 위상  
Fig. 4. Reflection phase of unit cell according to frequencies

그림 5는 제안된 카세그레인 반사배열 안테나의 구조를 나타내고 있다. 주 반사판은 반사 소자를 이용한 반사 배열 안테나로 설계되었으며, 부 반사판은 쌍곡선 형태의 곡면형 도체로 구성 하였다. 주 반사판과 부 반사판의 직경은 각각 100mm와 18mm로 설계 되었으며, 주 초점거리는 83mm로 0.83의 F/D 수치를 만족하고 있다.

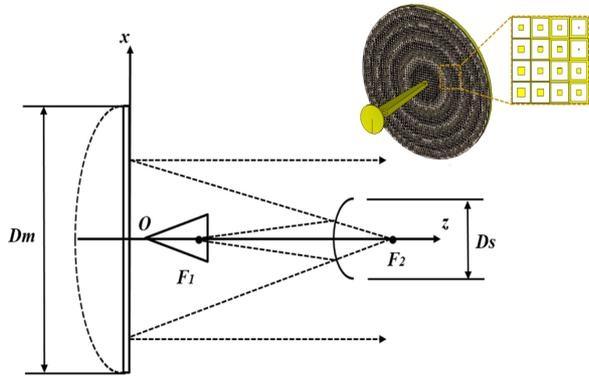


그림 5. 이중 반사배열 안테나의 구조  
Fig. 5. Structural configuration of dual-reflect array antenna

그림 6은 제안된 이중-반사배열 안테나의 이득 특성을 나타내고 있다. 도체 반사판 안테나와 달리 반사 배열 안테나의 배열 소자는 중심 주파수를 기준으로 위상 보정 하였으므로 주파수가 이동 할수록 반사 위상의 왜곡 및 안테나의 이득 저하를 초래한다. 또한, 이중 반사 배열 안테나의 경우 부 반사판의 방해(Blockage)로 인해 이득 대역폭의 감소가 극심하게 발생할 수 있게 된다. 하지만 본 논문에서 제안된 광대역 특성의 배열 소자를 통해서 12GHz의 넓은 1dB 이득 대역폭을 만족하였고, 대역 내에서 36.4dBi의 최대 이득 수치와 47.4%의 최대 효율을 도출 하였다.

반사판에 배치된 배열 소자는 주 반사판 개구면의 위상을 동 위상으로 맞춰주기 위하여 위치에 따라 적절한 위상 보정을 해주어야 한다. 주 반사판에서 요구되는 반사 소자의 위상은 다음과 같다.

$$\psi_{main} = k_0 \overline{F_2 M} \pm 2n\pi \quad (1)$$

여기서  $k_0$ 는 중심 주파수에서의 전파상수이며,  $\overline{F_2 M}$ 은 주 반사판에 배치된 반사 소자부터 주 초점거리까지의 거리를 나타내고 있다. 일반적으로 이중 반사판 안테나는 지지대(Strut)를 사용하여 부 반사판을 지지한다. 하지만 지지대를 구성하는 연결 구조는 주 반사판 앞에 배치되므로 빔의 산란(Scattering) 및 굴절(Diffraction)로 인해서 안테나의 성능을 저하시키게 된다. 본 논문에서 제안된 구조의 경우, 부 반사판을 레이돔의 체계구조에 부착하여 고정하는 방식을 채택하여 지지대로 인한 성능 저하를 최소화 하였다.

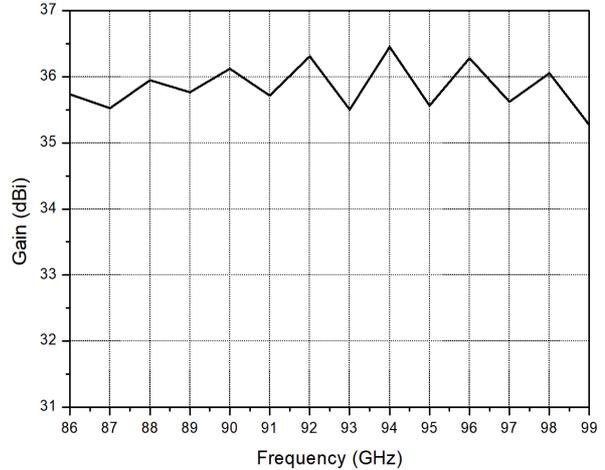


그림 6. 제안된 반사배열 안테나의 이득 특성  
Fig. 6. Gain characteristic of proposed reflect array antenna

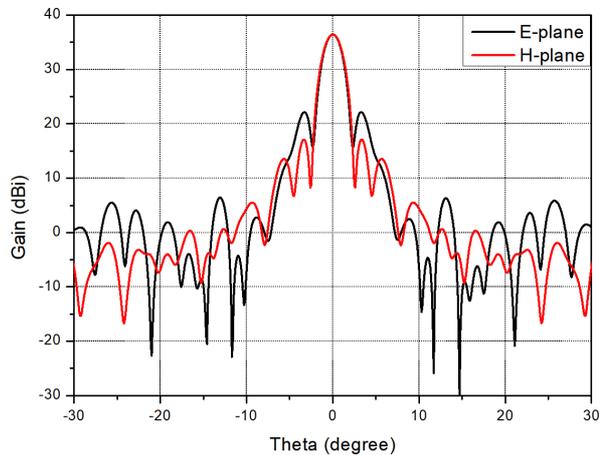


그림 7. 중심 주파수에서의 E와 H-평면의 방사패턴  
Fig. 7. Radiation patterns of E and H-plane at center frequency

그림 7은 중심 주파수인  $f = 90$  GHz에서의 방사 패턴을 나타내고 있다. 이득은 36.1dBi를 만족하고 있으며 부엽 준위는 E - 평면에서 14dB이하, H - 평면에서 19dB 이하를 만족하였다. 부엽준위가 상승한 원인은 주/부반사판 사이에 배치된 급전 혼에 의한 전파 산란 때문이다.

### III. 주 반사판 기울임을 통한 빔 조향 특성

빔 조향을 위한 주 반사판 기울임 방식은 부 반사판과 급전 혼을 반사판의 중심축에 고정시키고, 주 반사판을 기울여 빔을 조향함으로써 기울임 시의 구조 변경이 용이하다. 하지만 이 방식은 반사판을 기울임에 따라서 안테나의 특성 저하를 초래한다.

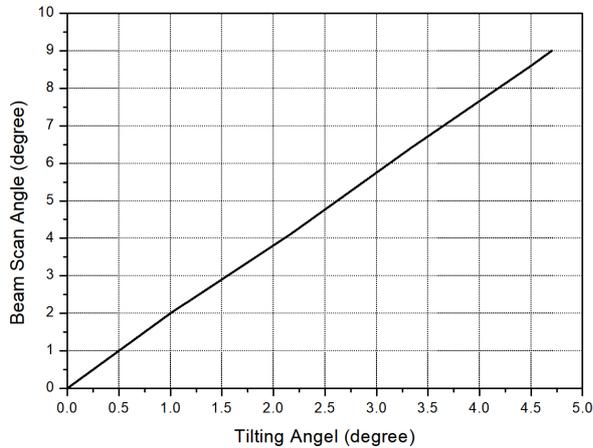


그림 8. 주 반사판의 기울임 각도에 따른 빔 조향 각도  
Fig. 8. Beam scanning angle according to tilting angle of main reflector

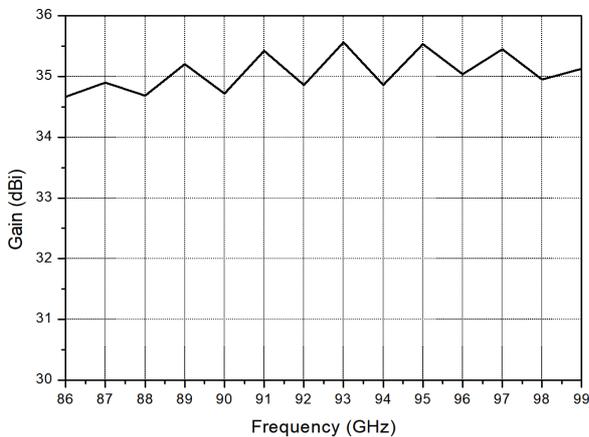


그림 9. 빔 조향 시의 제안된 반사배열 안테나의 이득 특성  
Fig. 9. Gain characteristic of proposed reflect array antenna in beam scanning

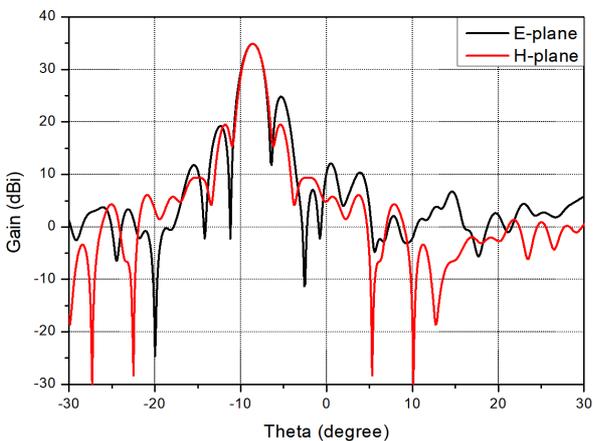


그림 10. 빔 조향시의 중심 주파수에서의 E 와 H-평면의 방사패턴  
Fig. 10. Radiation patterns of E and H-plane at center frequency in beam scanning

따라서 주 반사판의 기울임 시에 안테나의 성능 저하로 인해 기울임 각도를 최소로 유지해야 한다. 그림 8은 주 반사판의 기울임 각도에 따른 빔 조향 각도를 나타내고 있다. 빔 조향 각도는 주 반사판의 기울임 각도에 약 2배의 각도를 만족하고 있으며, 이에 따라 적절한 기울임 각도를 통해 원하는 빔 방향을 조향할 수 있게 된다.

그림 9는 최대 빔 조향 시 제안된 안테나의 이득 성능을 나타내고 있다. 빔을 조향하지 않았을 경우와 비교하여 약 0.5dBi의 이득 감소가 발생하였으며, 이는 주 반사판을 기울였을 시에 발생하는 반사 소자의 위상 오차와 구조 변경에 따른 개구면 효율의 감소로 발생한 성능 저하로 판단된다. 이득 대역폭은 13GHz를 만족하고 있으며, 대역 내에서 35.5dBi의 최대 이득 수치를 만족하고 있다. 그림 10은 빔 조향 시의 중심 주파수에서의 방사 패턴을 나타내고 있다. 이득은 34.7dBi를 만족하고 있으며 부엽 준위는 E-평면에서 10dB이하, H-평면에서 15dB 이하를 만족하였다. E-평면에서 부엽준위가 상승한 원인으로는 빔 조향 시 주반사판 회전에 의해 누설되는 전파가 증가하기 때문이다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 빔 조향이 가능한 W-대역 광대역 저 위상 민감도 반사배열 안테나를 설계 및 성능 분석을 하였다. 고 주파수 대역을 고려하여 반사 소자의 전통적인 설계 방식이 아닌 다섯 단계로 세분화된 설계 방식을 제안하였다. 또한 반사 소자의 선형적인 위상 기울기 특성을 활용하여 넓은 이득 대역폭을 도출 하였고, 기계적인 주 반사판의 기울임 방식을 통해서 빔 조향의 각도 조절 및 성능 분석을 시행하였다.

#### References

- [1] Brooker, Graham. Introduction to sensors for ranging and imaging. The Institution of Engineering and Technology, 2009.
- [2] N. R. Iyer, "Recent advances in anti-tank missile

- systems and technologies", SPIE Conference on Photonic Systems and Applications in Defense and Manufacturing, Singapore, pp. 46-67, Dec. 1999.
- [3] Sung-Rae Jo, Yong-Sun Jung, Dong-Hyun Kim, Chang-Yul Oh, and Bierng-Chearl Ahn, "Design of A Dual-Polarized Monopulse Antenna Employing Crossed Dipoles", Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 11, No. 11, pp. 75-82, Nov. 2013.
- [4] Myung-Hoon Park, Jun-Yong Han, Taek-Kyung Lee, Jae-Wook Lee, Gyung-Hyun Oh, and Sung-Chan Song, "Design of W-Band Cassegrain Antenna for Beam Steering", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 27, No. 4, pp. 358-368, Apr. 2016.
- [5] Jianing Zhao, Hao Li, Xiaoguang Yang, Wei Mao, Biao Hu, Tianming Li, Haiyang Wang, Yihong Zhou, and Qiao Liu "A Compact Ka-Band Monopulse Cassegrain Antenna Based on Reflectarray Elements", IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. 17, No. 2, pp. 193-196, Dec. 2018.
- [6] Pei Zheng, Bing Hu, Shenheng Xu, and Houjun Sun, "A W-band high-aperture-efficiency multipolarized monopulse cassegrain antenna fed by phased microstrip patch quad", IEEE Antennas and Wireless Propag. Lett., Vol. 16, pp. 1609-1613, Jan. 2017.
- [7] J. Huang and J. A. Encinar, "Reflectarray Antennas", Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 2008.
- [8] D. M. Pozar, S. D. Targonski, and H. D. Syrigos, "Design of millimeter wave microstrip reflectarrays", IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. 45, No. 2, pp. 287-296, Feb. 1997.
- [9] J. Huang and R. J. Pogorzelski, "Microstrip reflectarray with elements having variable rotation angles", in Proc. IEEE Int. Symp. Antennas Propag. Soc., Vol. 2, pp. 1280-1283, Jul. 1997.
- [10] Ji Hwan Yoon, Young Joong Yoon, Woo-sang Lee, and Joon-ho So, "Square ring element reflectarrays with improved radiation characteristics by reducing reflection phase sensitivity", IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. 63, Vol. 2, pp. 814-818, Dec. 2014.
- [11] Bahman Mohammadi, Javad Nourinia, Changiz Ghobadi, Abdelhady Mahmoud, Mohsen Karamirad, Farzad Alizadeh, and Hossein Mardani, "Enhanced Reflectarray Antenna Using Elements With Reduced Reflection Phase Sensitivity", IEEE Antennas and Wireless Propag. Lett., Vol. 17, No. 7, pp. 1334-1338, Dec. 2018.
- [12] Cai, Tong, Guang-Ming Wang, and Xiao-Fei Zhang, "Compact Dual-Resonance Element With Low Phase Sensitivity for Offset Reflectarray Antennas", IEEE Antennas and Wireless Propag. Lett., Vol. 16, pp. 1213-1216, Nov. 2016.
- [13] M. R. Chaharmir and J. Shaker, "Broadband reflectarray with combination of cross and rectangle loop elements", Electronics Letters, Vol. 44, No. 11, pp. 658-659, Jun. 2008.
- [14] Xiaoyue Xia, Qi Wu, Haiming Wang, Chen Yu, and Wei Hong, "Wideband millimeter-wave microstrip reflectarray using dual-resonance unit cells", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 16, pp. 4-7, Apr. 2016.

## 저자소개

최 은 철 (Eun-Cheol Choi)



2012년 2월 : 한국항공대학교  
항공전자공학과 (공학사)  
2014년 2월 : 한국항공대학교  
항공전자공학과 (공학석사)  
2016년 3월 ~ 현재 : 서울대학교  
전기정보공학부 박사과정  
관심분야 : 마이크로파 및  
밀리미터파 안테나, 반사배열 안테나 설계 및 해석

남 상 욱 (Sangwook Nam)



1981년 2월 : 서울대학교  
전자공학과(공학사)  
1983년 2월 : 한국과학기술원  
전자공학과(공학석사)  
1989년 : Electrical Engineering at  
the University of Texas at  
Austin(공학박사)

1990년 ~ 현재 : 서울대학교 전기공학부 교수  
관심분야 : 마이크로파 능동/수동 회로 설계, 안테나 및  
전파전파, 전자파 수치 해석 등

김 지 형 (Ji-Hyung Kim)



2009년 2월 : 아주대학교  
전자공학과(공학사)  
2016년 2월 : 아주대학교  
전자공학과(공학박사)  
2016년 3월 ~ 2016년 9월 :  
한화탈레스 전문연구원  
2016년 9월 ~ 현재 : 한화시스템

레이다 PGM 연구소 전문연구원  
관심분야 : 안테나 및 전파전파, 레이더 전자파해석

오 경 현 (Kyung-Hyun Oh)



1998년 2월 : 아주대학교  
전자공학과 (공학사)  
2010년 2월 : 아주대학교  
전자공학과 (공학석사)  
1998년 1월 ~ 2015년 6월 :  
삼성탈레스(주) 수석연구원  
2015년 7월 ~ 2016년 9월 :

한화탈레스(주) 수석연구원  
2016년 9월 ~ 현재 : 한화시스템(주) 수석연구원  
관심분야 : 안테나 시스템, 밀리미터파 안테나

신 상 진 (Sang-Jin Shin)



1989년 ~ 1995년 : 한양대학교  
제어계측공학과 (공학사)  
1996년 ~ 1998년 : 한양대학교  
제어계측공학과 유도제어연구실  
(공학석사)  
1998년 ~ 2002년 : 한양대학교  
제어계측공학과 유도제어연구실

(공학박사)  
2003년 ~ 2004년 : K1 기술연구소 선임연구원  
2005년 ~ 2013년 : 국방과학연구소 선임연구원  
2014년 ~ 현재 : 방위산업기술지원센터  
(국방과학연구소부설) 책임연구원  
관심분야 : 표적 추적필터, 레이더 신호처리 알고리즘,  
레이더 파형 및 시스템 설계