

# 위성 SAR용 광대역 이중편파 적층형 패치 배열 안테나 설계 및 제작

## Design and Fabrication of A Wide-Band Dual-Polarization Stacked Patch Array Antenna for Satellite SAR Applications

이재민\* · 유제우\*\* · 채희덕\*\* · 이유리\*\*\* · 정화영\*\*\*\* · 김종필\*\*\*\*\* ·

박종국\*\*\*\*\*

\* 주저자 : LIG넥스원 레이더연구소 선임연구원

\*\* 공저자 : LIG넥스원 레이더연구소 수석연구원

\*\*\* 공저자 : LIG넥스원 위성체계연구소 수석연구원

\*\*\*\* 공저자 : LIG넥스원 기계융합연구소 수석연구원

\*\*\*\*\* 공저자 : LIG넥스원 위성체계연구소 연구소장

\*\*\*\*\* 교신저자 : LIG넥스원 레이더연구소 팀장

Jae-Min Lee\* · Je-Woo Yu\* · Heeduck Chae\* · YuRi Lee\* · Hwa-Young Jung\* · JongPil Kim\* · Jongkuk Park\*

\* LIG Nex1

† Corresponding author : Jongkuk Park, jongkukpark@lignex1.com

Vol.20 No.2(2021)

April, 2021

pp.72~78

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

<https://doi.org/10.12815/kits.2021.20.2.72>

2021.20.2.72

Received 29 March 2021

Revised 7 April 2021

Accepted 11 April 2021

© 2021. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

### 요약

본 논문에서는 위성 SAR 시스템에 적용하기 위한 광대역 이중편파 적층형 패치 안테나를 설계하고 제작 결과를 제시하였다. 위성 SAR 분야에 주로 적용되는 X-대역에서 위성 SAR 시스템의 영상 품질 향상을 위해 손실 최소화, 광대역 동작 그리고 능동위상배열안테나에 적용이 가능하도록 능동반사손실 최소화 관점에서 안테나를 설계하였다. 제작된 안테나의 대역폭은 능동반사손실 -10 dB 이하 기준에서, 수직/수평 편파 각각 19.26%/19.79% 이며, 손실은 주파수 평균으로 수직/수평 편파 각각 0.797 dB/0.799 dB 로 확인되었다. 또한, 근접전계시험으로 안테나의 빔 패턴을 확인한다. 그 결과, 배열이론을 바탕으로 계산된 이상적 패턴과 비교하여, 측정된 패턴 및 지향성이 매우 유사함을 확인하였다.

핵심어 : 이중 편파, 광대역, 적층형 패치

### ABSTRACT

This paper proposes a wide-band dual-polarization stacked patch array antenna for satellite SAR system applications. The array antenna was designed for loss minimization and wide-band characteristics to enhance the performance of the SAR system and optimize it for active return loss in applications to active phased arrays. The fabricated array antenna showed a performance of 19.26%/19.79% fractional bandwidth within the -10 dB reference level of the active return loss and showed loss characteristics of 0.797 dB/0.799 dB averaged within the operational frequency for both H/V-polarization cases. The pattern performance was verified by comparing the measured patterns with the calculated patterns obtained by the array factor.

Key words : Dual polarization, Wide band, Stacked patch

## I. 서 론

영상레이더(SAR, Synthetic Aperture Radar)는 개념적으로 안테나를 이용하여 전자기파를 방사하고 목표물에 반사된 신호를 수신하여 얻어진 데이터를 처리하여 영상을 획득하는 시스템이다. 이러한 시스템에 적용되는 위성 SAR용 안테나는 높은 이득 특성을 확보하기 위해 전기적으로 매우 큰 크기가 요구된다. 이를 위해 안테나 전체를 능동 위상 배열 안테나로 구성하는 형태 혹은 상대적으로 작은 개구면의 능동 위상 배열 안테나를 급전기로 구성하고, 이중 반사판 안테나와 결합하는 형태로의 개발이 활발히 진행되고 있다.(Alexander et al., 2019; Lee, 2014)

위성 SAR용 안테나 구조로 활용될 수 있는 능동 위상 배열 안테나 형태는 빔을 전자적으로 조향하고 빔의 형태를 다양하게 바꾸면서 제한적인 시간 자원 내에서 최대한 많은 관측을 할 수 있는 장점이 있다. 이에 따라 능동위상배열 및 여러 시스템 분야에 활용이 가능하며, 광대역 특성 및 이중편파 구현이 용이한 적층형 슬롯 급전 마이크로스트립 패치 안테나의 개발이 활발히 진행되고 있다.

광대역 특성을 구현하기 위해 기존의 연구에서는 SSFIP (Strip-Slot-Foam-Inverted-Patch)형 구조에 단일 패치를 적층하여 17.5%(1.7 GHz,  $f_c=9.7\text{GHz}$ )의 대역폭 특성을 확보하였다(Won et al., 2006). 이 연구는 슬롯이 가운데에 배치되어, 이중편파 구현에 어려움이 있다. 또한, 슬롯에 의한 후면 방사를 억제하기 위해 차폐 면 배치가 필수적인데, 이는 마이크로스트립 선로 동작을 위해 충분한 높이를 필요로 하기 때문에 높이가 높아질 수 있다.

다른 구조의 적층형 안테나는 2개의 패치를 사용하며, 이중 편파를 구현하였다. 먼저 연구된 구조는 하단 패치와 수직 편파용 급전 선로를 같은 기판 층에 배치하며 마이크로스트립 패치에 삽입 급전을 하고, 그 아래에 H-형태의 슬롯을 배치하여 이중편파를 구현하였다(Wang et al., 2004). 이 연구에서는 20% 수준의 대역폭을 확보하였지만, 안테나 구조의 최하단 차폐 면 위와 상단 패치의 아래 부분에 폼을 사용함으로써 높이가 높고 적층 접합 시, 제작이 어려운 단점이 있다. 다음의 연구에서는 제작 용이성을 고려하여, 폼을 사용하지 않은 적층형 이중편파 마이크로스트립 안테나를 개발하였다(Ohnmar et al., 2015). 이 구조는 이중편파 구현 및 급전을 위해 CPWG(Co-Planar Waveguide with Ground) 구조와 마이크로스트립 구조의 선로를 다른 층에 각각 배치하여 블라인드 비아로 연결된다. 이로 인해, 제작 공정 중 기판 적층 작업 시 정렬 오류로 인한 불량률의 가능성이 커질 수 있다.

따라서 본 논문에서는 위성 SAR용 안테나 시스템에 적용을 위한 복사소자 개발의 선행 과제로서, 전기적 성능 모델의 패치 배열 안테나를 광대역 이중편파 적층형 패치 안테나를 설계하고 제작 및 검증하였다(Andrea et al., 2019; Capece, 2009). SAR 안테나에 적용이 가능하도록 일반적으로 국내/외에서 위성 SAR용 분야에 주로 적용되는 X-대역 주파수에서, 제작이 용이하고 별도의 차폐면이 필요없는 스트립 구조를 급전 선로로 사용하여 이중편파를 구현하였다. 또한, 영상 품질에 중요한 성능지표인 NESZ(Noise Equivalent Sigma Zero)를 고려하여 복사소자의 손실을 최소화하면서 시스템의 해상도를 최대한 확보할 수 있도록 광대역 특성을 고려하여 설계하였다(Park et al., 2019). 그리고 능동 위상 배열 안테나에서 복사소자 설계에 일반적으로 고려되는 능동반사손실을 최소화함으로써 전기적으로 인터페이스 되는 송수신모듈에 대한 영향성을 최소화하였다. 이와 같이 시스템과 연계된 설계 주안점으로부터 제안된 안테나의 구체적인 설명을 위하여 II장에서는 설계된 안테나의 구조를 서술하였으며, III장에서는 설계를 검증하기 위하여 제작된 부배열 안테나의 근접전계 측정 결과를 서술하였다. 마지막으로 IV장에서는 결론으로 마무리하였다.

## II. 패치 배열 안테나 설계

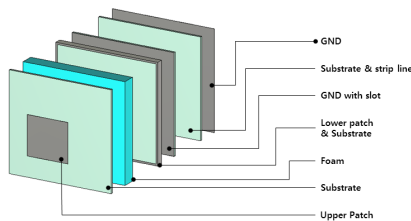
<Fig. 1>은 설계된 단일 안테나의 형상 및 적층 구조를 보여준다. 안테나는 스트립 구조의 급전 선로, 하단 패치, 폼 및 상단 패치로 구성된 구조이며, 슬롯 커플링 급전 구조를 적용하고, 광대역 특성을 얻기 위해 하단 및 상단에 마이크로 스트립 패치가 구성되는 적층형 패치 안테나로 설계하였다. 상단 패치와 하단 패치 사이에는 폼(Foam)을 사용하였다.

급전 선로는 일반적인 마이크로스트립 선로를 사용할 경우에 발생할 수 있는 선로 상의 프링징 필드(Fringing field)와 슬롯에 의한 후면 방사로 인하여 안테나 후면에 구성되는 급전 선로 및 후단에 구성될 수 있는 모듈로의 커플링으로 인하여 성능에 열화가 발생할 수 있다. 이를 개선하기 위하여 안테나의 후면 방향으로 그라운드와 스트립 라인 구조를 적용하여 외부로 방사될 수 있는 전계를 보다 효율적으로 차폐할 수 있도록 하였다.

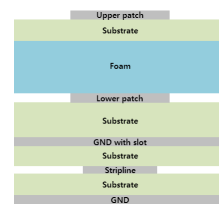
이중 편파를 방사할 수 있도록 하기 위해서는 각각의 급전 슬롯을 편파 방향과 수직이 되도록 각각 배치하여 구현하였으며, 기판은 수급이 용이하고 손실이 적은 Taconic사의 TLY 제품군에서 선정하였다.

<Fig. 2(a)>는 설계된 단위 배열 안테나의 구조 및 분배/결합 선로의 구조를 보여준다. 단위 배열 안테나의 구성은 앞서 언급된 바와 같이 스트립 구조의 급전 선로, 하단 패치, 폼 및 상단 패치로 구성되어있다. 스트립 구조의 급전 선로는 단위 배열 형성을 위해 <Fig. 2(b)>와 같이 균일 분포의 분배/결합 선로를 설계 및 적용하였다. 능동반사손실 최소화 관점의 설계를 위해, 먼저, 무한 주기 배열 경계면 조건 하에서 4×2 단위 배열 안테나의 패치, 슬롯, 슬롯 급전을 위한 T형태 스트립의 크기를 적절히 조절하여 최적화 설계를 하였다. 다음으로는 실제 구현을 위해 단위 배열을 확장한 유한 주기 배열 경계면 조건 하에서 능동반사손실을 확인하여 설계의 유효성을 검증하였다.

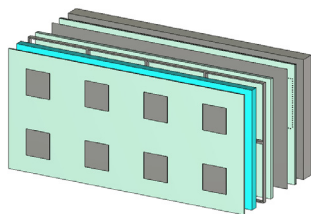
<Fig. 3>에는 설계된 수직/수평 편파 포트의 반사손실(Self return loss), 보어사이트에서의 능동반사손실(Active return loss @ boresight) 및 빔 조향 범위에서의 최대 능동반사손실(Active return loss @ max)을 나타내었다. 반사손실(Self return loss)의 대역폭은 수직/수평 편파 포트 각각 21.16%, 22.42% 이상이다. 빔조향 범위 내 최대 능동반사손실(Active return loss@max)의 대역폭은 각각 18.74%, 21.26% 이상의 대역폭 성능을 보여준다. 이 결과는 중심주파수에 대한 대역폭 비이며, -10 dB를 기준으로 확인하였다.



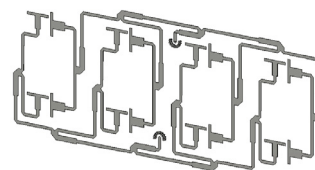
(a) Configuration structure of single antenna  
<Fig. 1> Configuration and stack structure of antenna



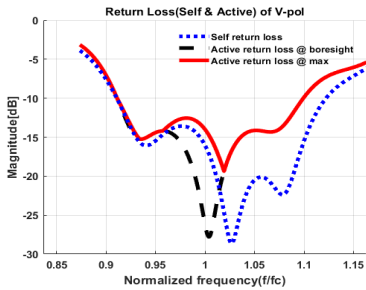
(b) Layer stack structure for antenna



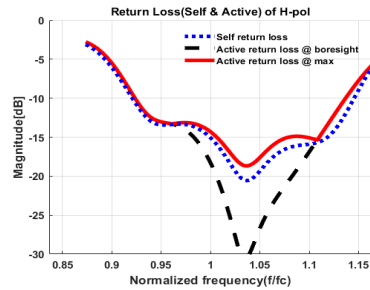
(a) Structure of sub array(4×2)  
<Fig. 2> Designed sub array antenna structure



(b) structure of dividing line each V- and H-pol

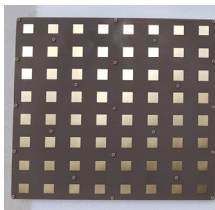


(a) Vertical polarization

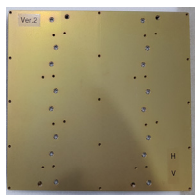


(a) Horizontal polarization

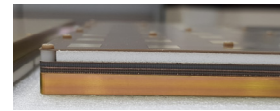
<Fig. 3> Self- and active return loss of designed sub array(4x2)



(a) Top view



(b) Bottom view



(c) Side view

<Fig. 4> Fabricated sub array antenna(8x8)

### III. 제작 및 측정

<Fig. 4>는 8x8 부배열 안테나의 제작된 형상이다. 제작된 8x8 부배열 안테나는 4x2 단위 배열 안테나를 x축으로 2개, y축으로 4개 배치된 구조이다. 8x8 부배열 안테나의 크기는 187.52 mm x 176 mm x 13.78 mm 이다.

상단 및 하단의 패치 그리고 스트립 선로는 Taconic사의 TLY 시리즈 기판을 사용하였다. 이 사이에는 Evonic사의 HF 시리즈 폼을 사용하였다. 마지막으로 가장 하단에는 분배/결합 선로가 있는 스트립 선로가 있다. 모든 기판 레이어는 유전체 나사를 이용하여 <Fig. 4(a)>와 같이 고정시켰다. 이때, 나사 조립에 의한 기판 눌림 현상을 최소화하기 위해 나사지지대를 배치하여 패치 기판 눌림 현상이 없도록 조립하였다. <Fig. 4(b)>는 단위 배열 안테나의 후면에서 본 형상이다. 일정한 거리를 두고 수직 편파와 수평 편파 포트가 구성되어 있으며, 포트는 SMP 커넥터를 사용하여 블라인드메이트 조립을 할 수 있도록 하였다.

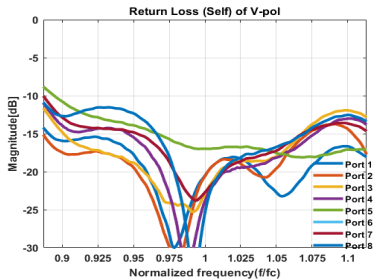
포트 외의 다른 홀은 측정 시, 측정케이블의 움직임에 따른 측정 변화량을 최소화하기 위해 측정 치구를 부착하기 위한 자리이다. <Fig. 4(c)>는 옆면을 나타내며, 앞서 구조 설명한 바와 같이 상단 패치와 하단 패치 사이에 폼으로 구성된 형상 및 나사 지지대가 있음을 확인 할 수 있다.

<Fig. 5>는 제작된 8x8 부배열 안테나의 수직/수평 편파 포트에 대한 반사손실을 보여주며, 편파 포트 당 8개의 포트 모두 반사손실을 측정하여 나타내었다. 측정된 수직/수평 편파 포트의 반사손실 대역폭은 -10 dB 이하 기준으로 각각 32.3%, 31.4% 이다. 이 결과는 측정된 8개의 데이터(Port1 ~ Port8)에서 주파수별 최대값으로 확인하였으며, 중심주파수에 대한 대역폭 비이다.

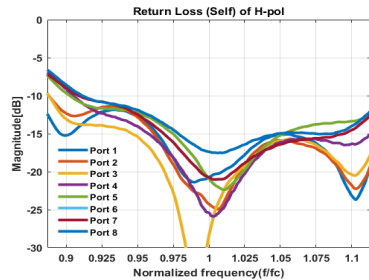
<Fig. 6>은 제작된 부배열 안테나의 수직/수평 편파 포트에 대한 능동반사손실을 보여준다. 능동반사손실은 부배열의 중심 위치에 있는 포트에 대해 측정하였다. 빔 조향 범위는 -12° ~ 12° 로 설정하였으며, 1° 간격으로 능동반사손실을 계산하고 그 최대값을 구하여 나타내었다. 또한 6° 간격으로 능동반사손실의 특성을 추가로 확인하였다. 수직/수

평 편파 포트의 능동반사손실 대역폭은 최대값이 -10 dB 이하 기준으로 각각 19.26%, 19.79% 이다. 이 결과는 주파수별 1° 간격의 능동반사손실(Active return loss @ Max) 데이터에서 최대값으로 확인하였으며, 중심주파수에 대한 대역폭 비이다.

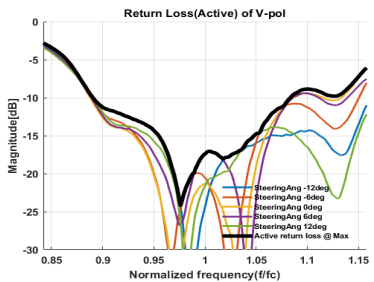
패턴 측정 결과는 각각의 편파 포트 8개를 근접전계 측정된 후 각 소자의 위상 중심을 고려하여 근접전계 데이터를 합성하고 원전계로 변환하였다. <Fig. 7>은 수직/수평 편파 포트의 원전계 패턴을 보여준다. 측정된 패턴은 배열 인자를 통해 계산된 이상적인 패턴과 매우 유사한 결과를 보여주어 설계 및 제작이 유효함을 확인할 수 있다. <Fig. 8(a)>는 측정을 통해 획득한 패턴의 지향성 및 이득 그리고 이상적인 패턴의 지향성을 나타내었다. 측정된 패턴의 지향성 값과 이상적으로 계산된 패턴의 지향성 값이 주파수 축에서 매우 유사함을 보여준다. <Fig. 8(b)>는 측정된 패턴의 지향성과 이득의 차를 통한 획득한 손실을 보여주며, 주파수 축에서 최대값은 각각 1.05 dB, 1.14 dB 이고, 평균값은 각각 0.797 dB, 0.799 dB 이다.



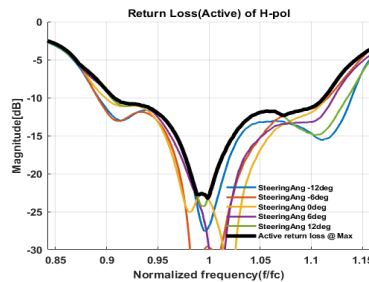
(a) Vertical polarization  
<Fig. 5> Self return loss of sub array antenna.(V-, H-pol)



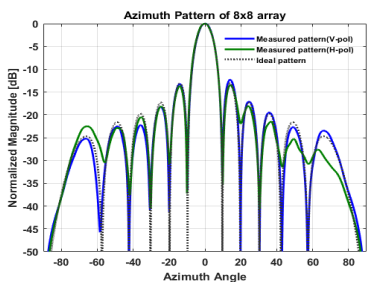
(b) Horizontal polarization



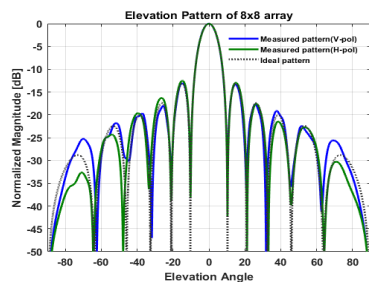
(a) Vertical polarization  
<Fig. 6> Active return loss of sub array antenna.(V-, H-pol.)



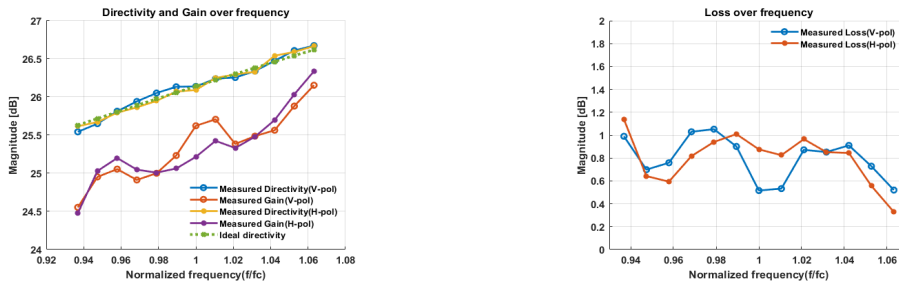
(b) Horizontal polarization



(a) Azimuth pattern  
<Fig. 7> Synthesized pattern of array(8x8) antenna.(V-, H-pol.)



(b) Elevation pattern



(a) Directivity & Gain of V- and H-pol.

(b) Loss of V- and H-pol.

<Fig. 8> Directivity, Gain and Loss over frequency(V-, H-pol.)

## IV. 결 론

본 논문에서는 위성 SAR용 능동 위상 배열 안테나 혹은 이중 반사판 안테나의 급전기에 적용할 수 있는 안테나를 설계하고 검증하였다. 위성 SAR 안테나에서 주요하게 요구되는 이중편파 구조를 적용하면서 광대역/저손실 특성을 확인하였으며, 이와 더불어 능동 위상 배열 안테나에서 요구되는 빔 조향범위에서의 능동 반사손실을 최적화하여 설계하고 이를 검증하였다. 따라서, 본 논문에서 검증된 안테나가 향후 위성 SAR용 능동 위상 배열 형태의 안테나로 적용하기 위한 복사소자에 활용 가능성을 확인하였다. 또한, 본 논문을 통하여 얻어진 설계 방법은 나아가 우주 환경이 고려된 복사소자를 국산화하는데 큰 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

## REFERENCES

- Alexander H., Martin S., Adamiuk G., Riegger S. and Heer C.(2019), "Status and Future Trends of Active Phased Array Antennas for AIRBUS Space-Borne SAR Systems," *2019 IEEE International Symposium on Phased Array Systems & Technology*.
- Andrea S., Pasquale C. and Giovanni M.(2019), "Developments in SAR active phased array antennas in Thales Alenia Space," *2019 IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology*.
- Capece P.(2009), "Active SAR Antennas: Design, Development, and Current Programs," *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2009, Article ID 796064.
- Kyaw O., Chua L. H., Gan Y. B. and Venkatarayalu N.(2015), "Design of a Dual-Polarized X-Band Antenna Sub-Array for SAR applications," *IEEE 5th Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar(APSAR)*.
- Lee T. K.(2014), "Design of Deployable Lightweight Antenna for Satellite SAR," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 25, no. 11, pp.1104-1112.
- Park J., Kim D., Kim W. and Kim J.(2019), "Operation Mode Design and Performance Analysis for Small Satellite SAR Payload," *The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and*

*Communication(IIBC)*, vol. 19, no. 5, pp.169-173.

Wang W., Zhong S. and Liang X.(2004), "A dual-polarized stacked microstrip antenna subarray for X-band SAR application," *IEEE Antennas and Propagation Society Symposium*.

Won Y. J., Lee Y. J. and Kong Y. K.(2006), "Design and Fabrication of X-band Wideband Array Antenna for SAR Applications," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 17, no. 2, pp.184-192.