

# 고기동 위성 탑재 하이브리드 영상레이다 개발

## Development of High Agile Space-Borne Hybrid Synthetic Aperture Radar

성진봉 · 김세영 · 이동우 · 이호창 · 이현익 · 류지호 · 이종환

JinBong Sung · Seyoung Kim · Dongwoo Yi · Hochang Lee · Hyonik Lee · Jiho Ryu · Jonghwan Lee

### 요 약

위성 탑재 영상레이다는 지구 궤도를 회전하며, 시공간의 제약 없이 영상 데이터를 획득할 수 있다. 2000년대 이후 국내에서도 위성 탑재 영상레이다에 대한 개발이 시작되었으며, 최근 개발 수요가 더 증가하고 있다. 현재까지 국내에서 개발된 중대형 위성은 전자 빔 조향에 의해 영상을 획득하는 능동형 영상레이다가 대부분이다. 하지만 특정 관심 지역에 대해 한정된 운용 시간 내에 신속하고 빠르게 영상 획득 임무를 수행하기 위해서는, 플랫폼 기동에 의해 촬영 지점을 지향할 수 있는 수동형 안테나 영상레이다가 요구된다. 본 연구에서는 고기동성이 요구되는 위성체에 탑재되며, 제한적인 전자빔 조향이 가능한 하이브리드 영상레이다의 개발 결과와 지상 시험 결과를 소개한다.

### Abstract

The space-borne SAR (synthetic aperture radar) payload orbits the earth and can obtain SAR image data without any time and space constraints. Because of these advantages, the development of space-borne SAR has begun in Korea since the 2000s, and the demand for development is increasing further. Until recently, medium and large satellites developed in Korea were active SAR systems operated by electrical beam steering. However, if images should be acquired quickly within a limited time for a region of interest, a passive antenna SAR system is more effective than pointing by platform maneuvering. In this paper, we introduce the development results of a hybrid SAR system mounted on satellites that require high agility and is capable of limited electrical beam steering and its on-ground test and verification results.

Key words: SAR, Space-Borne SAR, Hybrid SAR, High Agility, On-Ground Test

### I. 서 론

영상레이다는 지표면에 반사된 신호 정보를 기반으로 지표 영상 데이터 획득이 가능한 시스템이다<sup>[1]</sup>. 전자파를 기반으로 운용하기 때문에, 주야간 및 기상 상태에 상대적으로 자유롭게 영상 데이터 획득이 가능한 장점이 있다. 2000년대에 다목적 실용위성 5호의 개발을 필두로 국

내 개발이 시작되었으며, 최근에는 서브미터급 해상도 영상 제공, 변화탐지, 해양 및 대지 관리 그리고 재난 및 환경 모니터링 등 다양한 임무를 위한 위성 탑재 영상레이다의 개발이 활발히 진행되고 있다.

위성 탑재 영상레이다는 전자빔 조향을 기반으로 관심 지역을 지향하는 능동형과 플랫폼 기동을 통해 지향하는 수동형, 그리고 능동형과 수동형을 혼합 사용할 수 있는

□

국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· Manuscript received July 2, 2023 ; Revised July 18, 2023 ; Accepted August 7, 2023. (ID No. 20230702-001S)

· Corresponding Author: Seyoung Kim (e-mail: ksy0730@add.re.kr)

하이브리드형으로 구분할 수 있다. 각 형태는 저마다 장단점을 가지며, 위성의 임무에 따라 결정된다. 수동형 안테나를 장착한 위성은 플랫폼의 빠른 기동 특성을 기반으로, 관심 지역에서의 영상 촬영 횟수를 증가시켜 표적을 정밀 감시할 수 있는 장점이 있다.

국내에서는 다목적 실용위성 5호와 6호를 통해 능동형 중대형 위성 개발 경험을 보유하고 있지만, 수동형 안테나를 장착한 중대형 위성 개발 경험은 없었다<sup>[2]~[4]</sup>. 따라서 플랫폼 기동 영향성 등 기존 능동형 위성에서 고려하지 않았던 다양한 요소들에 대한 설계와 분석이 요구된다. 본 논문에서는 플랫폼 기동과 제한적인 전자빔 조향이 동시 가능한 하이브리드 영상레이다의 설계 및 개발 결과를 제시한다.

## II. 하이브리드 수동형 영상레이다 개발임무 정의

영상레이다 개발의 첫 번째 과정은 위성 임무로부터 영상레이다 탑재체의 임무 및 기능을 할당하는 것이다. 본 논문에서는, 표 1과 같은 임무 요구조건을 기반으로 영상레이다의 주요 임무를 식별하였다. 그리고 이를 통해 수동형안테나와 제한적인 전자빔 조향이 가능한 중대형 하이브리드 영상레이다 개발을 진행하였다.

### 2-1 시스템 및 운용개념 설계

임무 정의 후, 임무 충족을 위한 규격 설정 및 시스템 및 운용개념 설계가 아래와 같은 순서로 진행된다.

표 1. 영상레이다의 주요 임무  
Table 1. The mission of SAR payload.

Mission	SAR payload mission
Acquisition modes	Standard / high resolution / (ultra) high resolution
Densely populated target detection	Gap time between SAR mode, tranquilization time of platform maneuvering, squinted SAR operation and left/right looking
Multi-polarization	Dual polarized antenna configuration, dual receiving architecture
Changing detection	High accurate amplitude / phase stability
Interferometry SAR image	Pulse error analysis and ultra stable oscillator
Lifetime and reliability	FDIR, redundant scheme, single point failure avoidance, graceful degradation

### 2-1-1 수동형 안테나 장착 영상레이다 운용 개념 설계

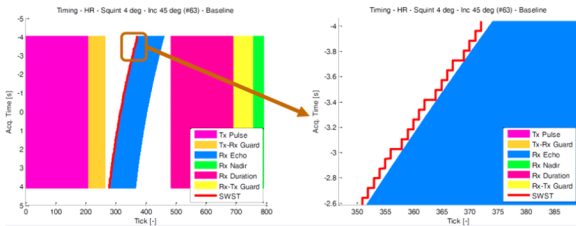
수동형 안테나를 장착한 영상레이다의 경우, 플랫폼의 기동에 의해 관측 위치 및 고해상 영상획득을 위한 빔 조향이 수행된다. 따라서 플랫폼의 기동과 영상레이다 임무 명령이 유기적으로 계획되어야 하며, 플랫폼 기동 능력 및 안정화 시간 등이 영상레이다 운용 설계 시 고려되어야 한다. 본 시스템은 플랫폼 기동능력만으로는 일부 사용자 요구사항 충족이 어렵기에, 제한적인 전자 빔 조향이 가능하도록 영상레이다 시스템 설계에 반영하였다.

### 2-1-2 시스템 규격을 만족시키는 모드 변수 설계

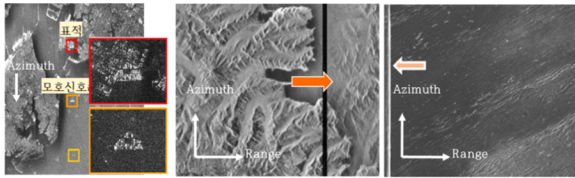
주요 모드 변수 중에서 펄스 반복 주기(PRF: pulse repetition frequency)는 SAR 성능에 매우 큰 영향을 미치는 항목이다. 그림 1은 낮은 스캔트 각도에서의 PRF 설계 결과이다. 또한 잘못된 PRF 선정에 의해 수신된 모호신호로 인한 영상 품질의 저하 결과를 거리방향, 방위방향 및 천저(nadir) 방향으로 구분하여 보인 것이다. 이를 회피하기 위해, 송신 및 천저 간섭이 발생하지 않는 유효 범위를 탐색하고, 거리방향과 방위 방향 성능을 만족하는 영역을 설정하는 등 다양한 기법을 적용해 최적의 모드 변수를 탐색하고 설계한다.

### 2-1-3 내부 보정 설계 및 신호 타이밍 설계

SAR 장치 고유의 잡음 특성 및 신호 경로상에서의 진



(a) 낮은 스윙트 각도에서의 PRF 설계  
(a) PRF design in low squinted angle



(b) PRF 선정에 따른 영상 품질 예  
(b) Image quality vs. PRF selection

그림 1. PRF 설계

Fig. 1. Design of PRF.

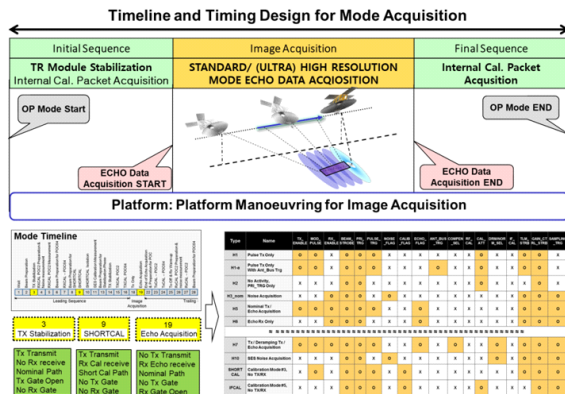


그림 2. SAR 운용 타임라인 및 타이밍 신호 설계  
Fig. 2. SAR timeline and timing signal design.

폭과 위상 특성 분석을 수행하며, 이를 기반으로 운용 타임라인 설계가 수행된다. 이때 운용 모드의 초기 과정과 종단 과정에서의 잠음신호와 보정신호의 신호 획득 개수를 결정하며, 장비의 안정화 시간을 반영한다. 또한 실시간 제어를 위한 타이밍 신호도는 그림 2와 같다.

## 2-1-4 고장 탐지, 차단 및 복구 개념 설계

위성은 한번 발사되면 문제가 발생하여도 지상으로 복

귀하여 육안검사와 재현시험을 할 수 없다. 따라서 영상레이다의 고장 탐지, 차단 및 복구를 위한 영상레이다 내부 장치의 상태정보와 지상으로의 전송 항목에 대한 설계가 수행되었다.

## 2-2 구성품 개발

시스템은 하이브리드 수동형 안테나부와 전자부로 크게 구성되었으며, 안테나부는 급전부와 반사판, 전자부는 송수신장치와 제어장치로 구성된다.

### 2-2-1 안테나부 개발

안테나는 이중 반사판 구조와 위상배열 기반의 능동형 급전배열 구조로 구성된다. 또한, 시스템 요구사항을 충족하도록 안테나 빔 패턴을 합성하고, 제한적인 고각 방향 빔 조향 기능을 보유한다. 제어장치로부터 실시간 제어 신호와 1553B 인터페이스를 통한 제어 명령을 수신하여 동작한다. 안테나부의 세부 구성품은 그림 3과 같다.

그림 4는 안테나 구성품의 개발을 위하여 수행한 다양한 분석결과를 정리한 것이다. 운용 모드별 무결한 빔 생성 확인, RF 구성품 및 플랫폼 기동에 의한 빔 지향 오차 분석, 송수신타일의 고장 위치에 따른 성능 영향성 분석 등을 수행하였다.

### 2-2-2 전자부 개발

제어장치는 실시간으로 레이더 파형을 생성하고, 디지털

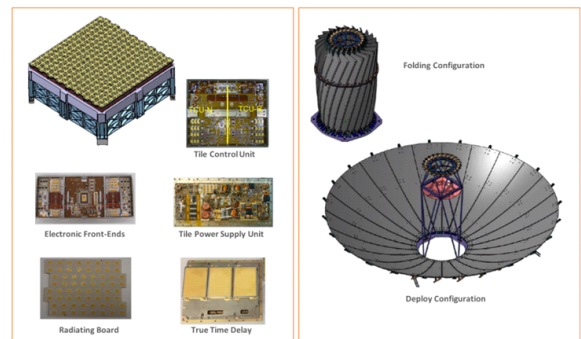


그림 3. 안테나부 구성품  
Fig. 3. Component of SAR antenna assembly.

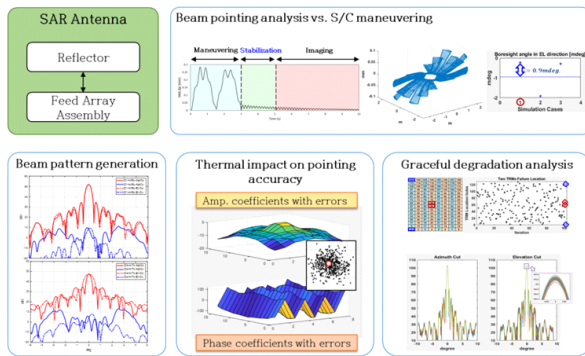


그림 4. 안테나부 설계 분석

Fig. 4. Design & analysis of SAR antenna assembly.

텔 수신 처리, 데이터 압축 포매팅 기능을 수행한다. 또한 고장 탐지 및 격리 기능, 원격 명령 전송 기능 등을 가진다. 송수신장치는 광대역의 레이다 신호에 대한 주파수 상/하향 기능, 정밀한 동기 시스템 클럭 신호 생성 기능 및 광대역 수신신호에 대한 **dechirp-on-receive** 기능을 갖는다. 내부 보정 경로를 통한 방사 안정도를 주기적으로 측정하고 보정하도록 개발되었다. 그림 5는 전자부 구성품의 제작 결과를 보여주며, 그림 6은 전자부의 단계별 신호 및 데이터 분석 내용을 간략히 보여주고 있다.

### III. 지상 성능검증 결과

안테나부는 반사판 조립, 전개 및 환경시험, 반사판 성능 시험, 급전부 조립 및 안테나 레벨 시험을 단계적으로 시행하였다. 전자부는 초기 기능/성능 시험, 열 환경시험,

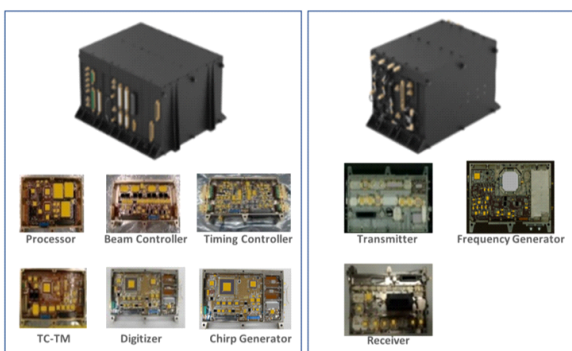


그림 5. 전자부 구성품

Fig. 5. Component of SAR electronics subsystem.

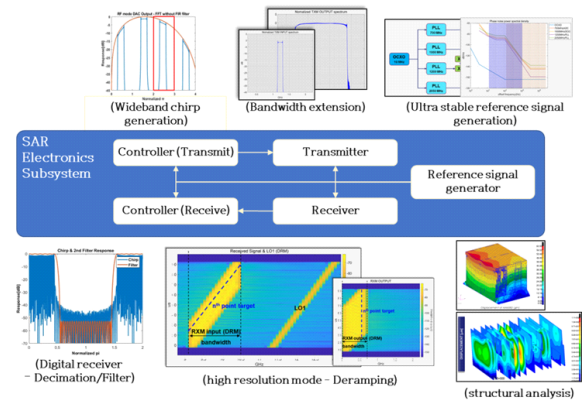


그림 6. 전자부 설계 분석

Fig. 6. Design & analysis of SAR electronics.

최종 기능/성능 시험을 시행하였다. 전자부의 열 환경시험 중 하드웨어의 진폭/위상 특성을 보상 및 보정하기 위한 하드웨어의 특성화 시험도 함께 진행되었다.

전자부와 안테나부의 시험 결과를 기반으로 영상레이다 레벨의 성능검증을 수행하여, 각 성능 규격이 만족함을 최종 검증하였다. 그림 7은 전자부와 안테나부, 그리고 이를 통한 영상레이다 레벨의 지상 시험 결과와 성능 분석 결과를 보여준다.

### IV. 결 론

본 연구에서는 고기동성 위성에 탑재되는 하이브리드 영상레이다의 국내 개발 결과를 소개하였다. 하이브리드

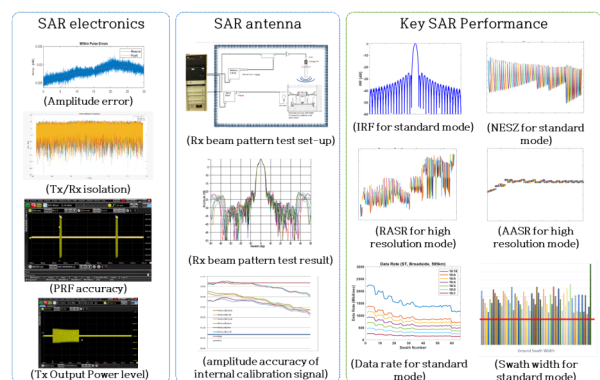


그림 7. 지상 성능 시험 및 검증 결과

Fig. 7. On-ground performance verification results.

영상레이다의 구성 및 구성품의 주요 설계내용과 제작 결과를 제시하였고 전자부와 안테나부의 시험 단계를 정의하였다. 마지막으로 영상레이다 지상 성능검증을 통하여 영상레이다의 요구규격이 만족함을 확인하였다.

## References

- [1] I. G. Cumming, F. H. Wong, *Digital Processing of Synthetic Aperture Radar*, London, Artech House, 2005.
- [2] S. Kim, J. Sung, J. Lee, D. Yi, H. Lee, and H. Lee, "Space-borne phased array SAR development with high

- resolution and multi-operational mode characteristic," in *Annual Conference of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Daejeon, Nov. 2021, pp. 446-447.
- [3] S. Kim, J. Sung, and A. Torre, "In-orbit antenna pattern extraction method for active phased-array SAR antennas," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 15, pp. 317-320, Jun. 2015.
- [4] S. Kim, C. Nam, and B. Lee, "Satellite MIMO SAR technique using digital beam forming," *The Proceeding of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 28, no. 2, pp. 6-11, Mar. 2017.

성진봉 [국방과학연구소/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-5028-0990>



1998년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)  
2000년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)  
2022년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학박사)  
2001년~2006년: 한국전자통신연구원 연구원

연구원

2007년 3월~현재: 국방과학연구소 책임연구원  
[주 관심분야] 영상레이다

이동우 [국방과학연구소/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-1149-9954>



2002년 8월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)  
2005년 2월: 포항공과대학교 전자공학과 (공학석사)  
2018년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)  
2005년 3월~현재: 국방과학연구소 책임연구원

연구원

[주 관심분야] 영상레이다 시스템

김세영 [국방과학연구소/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-5112-3524>



1991년 2월: 단국대학교 전자전기공학부 (공학사)  
1993년 2월: 단국대학교 전자전기공학과 (공학석사)  
2010년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)  
1993년 3월~현재: 국방과학연구소 수석연구원

연구원

[주 관심분야] 레이더 및 영상레이다 시스템 등

이호창 [국방과학연구소/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-1463-5483>



2006년 2월: 중앙대학교 컴퓨터공학과 (공학사)  
2008년 2월: 중앙대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)  
2013년 2월: 중앙대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)  
2013년 2월~현재: 국방과학연구소 선임연구원

연구원

[주 관심분야] 영상레이다 소프트웨어

이 현 익 [국방과학연구소/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-8410-4557>



2002년 2월: 한국과학기술원 전기및전자공학부 (공학사)  
2005년 2월: 한국과학기술원 전산학부 (공학석사)  
2023년 2월: 한국과학기술원 전기및전자공학부 (공학박사)  
2008년 2월~현재: 국방과학연구소 선임

연구원

[주 관심분야] 영상레이다 통제장치

이 중 환 [국방과학연구소/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-5032-4378>



1998년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)  
2000년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)  
2005년 1월~2006년 10월: (주)삼성탈레스 책임연구원  
2006년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학

박사)

2006년 10월~현재: 국방과학연구소 책임연구원

[주 관심분야] 영상레이다 시스템

류 지 호 [국방과학연구소/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-5777-0725>



2004년 2월: 경북대학교 전자전기공학부 (공학사)  
2006년 2월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학석사)  
2023년 2월: 한국과학기술원 전기및전자공학부 (공학박사)  
2013년 4월~현재: 국방과학연구소 선임

연구원

[주 관심분야] 영상레이다 안테나