



위성 송수신 핵심 부품 및 기술 동향

I. 서론

인공위성을 이용하여 지표면의 지형 및 지물을 관측하는 기술로서 광학카메라를 이용하는 기술과 전파 영상레이더를 이용하는 기술이 사용되고 있다. 광학카메라를 이용하는 방법은 일반적인 카메라의 특성과 같이 사람의 눈으로 볼 수 있는 것과 같은 영상을 위성에 탑재한 고성능 카메라를 이용하여 촬영하는 기술이다. 그러나, 광학카메라를 이용하는 방법은 기상 환경 조건에 따라 영상을 촬영할 수 없는 상황에 놓일 수 있는 가능성을 가지고 있으며, 특히 야간에는 촬영이 불가능하다는 단점을 가지고 있다.

이에 반하여 전파 영상레이더 기술을 이용한 합성 개구면 레이더라고 불리는 SAR (Synthetic Aperture Radar) 시스템을 탑재한 인공위성을 이용할 경우 기상 환경 조건의 영향을 받지 않고 항상 지표상의 영상을 습득할 수 있는 장점을 가지고 있다. SAR 시스템을 이용한 전파 영상 레이더 기술은 1950년대에 개발되어 초고주파 기술을 발전과 함께 그 성능의 눈부신 발전을 이루어내고 있으며, 많은 선진국에서 상업용 및 군사용 목적으로 개발하여 사용하고 있다^[1].

SAR 시스템을 이용한 전파 영상 레이더 기술은 1950년대에 개발되어 초고주파 기술을 발전과 함께 그 성능의 눈부신 발전을 이루어내고 있으며, 많은 선진국에서 상업용 및 군사용 목적으로 개발하여 사용하고 있다.

최근에 개발되어 운용되고 있는 전파 영상 레이더는 1 m 의 해상도로 지표면을 관측할 수 있는 능력을 갖게 되었으며, 여러개의 SAR 위성을 위성군으로 활용하여 정밀도를 높히려는 기술도 개발되었다. 고해상도의 전파영상 레이더의 경우 군사용 목적으로 사용되는 사례가



장 동 필
한국전자통신연구원
위성무선RF기술연구실



엄 만 석
한국전자통신연구원
위성무선RF기술연구실



엄 인 복
한국전자통신연구원
위성무선RF기술연구실

대부분이며 이 경우 관련 기술 자료가 공개되지 않은 것으로 파악되고 있으며, 전파 영상 레이더를 탑재한 위성 관련 자료 중에 미국의 정보가 많지 않다는 것이 특징적이다.

앞에서 언급한바와 같이 전파 영상 레이더인 SAR 시스템의 발전은 초고주파 기술의 발전과 함께 발전하고 있으며, 이에 본 논문에서는 위성탑재 전파 영상레이더인 위성 SAR용 송수신 핵심 부품에 대한 이해와 현황에 대하여 살펴보고자 한다. 2장에서는 위성 SAR를 탑재하여 운용하고 있는 위성과 그 위성에 탑재된 SAR 시스템의 송신기에 대하여 그 특징을 살펴보고, 3장에서는 SAR 시스템의 송수신 핵심 부품인 고출력증폭기, 송수신 모듈(TR Module), 고효율 전원장치 기술 현황에 대하여 설명하고자 한다. 그리고 4장에서는 위성 SAR용 송수신 부품의 기술 전망에 대하여 요약하고자 한다.

II. 전파 영상 레이더 송수신기 현황

지구 관측용 위성탑재 전파 영상레이더는 미국을 비롯하여 유럽, 일본, 러시아, 캐나다, 중국, 이스라엘, 그리고 인도 등이 기술을 보유하고 있는 것으로 파악되고 있다. 특히 군사용으로 사용되는 전파 영상레이더의 경우

고해상도 영상을 얻기 위하여 X-대역 주파수를 사용하고 있으며, 비교적 낮은 해상도의 영상을 필요로 하는 환경 및 자원 관리 목적의 전파 영상레이더는 L-대역 및 C-대역의 주파수를 사용하고 있다. <표 1>에 2000년대에 발사되어 운용되고 있는 전파영상 레이더를 탑재하고 있는 위성의 특징을 요약하였다^[1-2].

특히 <표 1>에 나타나 있는 KOMPSAT-5 위성은 한국항공우주연구원에서 개발하여 운용 중인 다목적실용위성으로서 X-대역 SAR 시스템을 탑재하고 있으며, 이것은 우리나라도 위성 전파 영상레이더의 보유국이 되었음을 의미한다.

가장 최근에 발사된 ALOS-2 위성의 경우 일본의 JAXA에서 개발한 최신형의 SAR 위성으로서 L-대역의 주파수를 사용하면서도 1 m 급의 해상도를 구현한 것으로 알려져 있어, 일본의 SAR 시스템의 높은 수준을 알 수 있다. <표 1>에서 보듯이 최근에 운용되고 있는 대부분의 위성탑재용 전파영상레이더는 위상배열 안테나를 사용하고 있으며, 이 경우 SAR 안테나의 빔 지향 방향을 기계적인 자세 제어 없이 전기적으로 제어할 수 있다.

<표 2>에서는 위성 탑재 SAR 시스템에 사용된 송신기의 특징에 대하여 요약하였다. SAR 시스템에 사용되는 송신기는 크게 TWTA (Traveling Wave Tube

최근에 운용되고 있는 대부분의 위성탑재용 전파영상레이더는 위상배열 안테나를 사용하고 있으며, 이 경우 SAR 안테나의 빔 지향 방향을 기계적인 자세 제어 없이 전기적으로 제어할 수 있다.

<표 1> 국내외 위성탑재 전파 영상레이더의 특징 요약

Satellite	발사 시기	주파수	해상도(m)	관측폭(km)	편파	안테나	제작사
ALOS	2006. 1	L-Band	7~100	20~350	Full	위상배열	JAXA
RADARSAT-2	2007. 12	C-Band	3~100	20~500	Full	위상배열	TAS
TerraSAR-X	2007. 6	X-Band	1, 3, 16	10 ~100	Full	위상배열	Airbus
TECSAR	2008. 1	X-Band	1, 3, 8	5~51	Full	반사판	Elta
SAR-Lupe	2008. 7	X-Band	0.5, 1	5.5, 8	Single	반사판	TAS
Tandem-X	2010. 6	X-Band	1, 3, 16	5~150	Full	위상배열	Airbus
COSMO Skymed	2010.11	X-Band	1~100m	10~200	Full	위상배열	TAS
RISAT-1	2012. 4	C-Band	1 ~ 50	10~230	Dual	평면배열	ISRO
KOMPSAT-5	2013. 8	X-Band	1, 3, 20	5, 30, 100	Full	위상배열	TAS
Sentinel-1	2014. 4	C-Band	5, 20	20 ~400	Dual	위상배열	TAS
ALOS-2	2014. 5	L-band	1 ~ 100	25 ~ 350	Full	위상배열	JAXA



〈표 2〉 위성탐재 전파 영상레이더에 사용된 송신기의 특징 요약

Satellite	주파수 대역	송신기			안테나	용도	최대 송신 전력	제작사
		형태	전력(W)	수				
RADARSAT-2	C	TRM	6 or 10	512	위상배열	SAR	3 kW	TAS
TerraSAR-X	X	TRM	7.0&3,2	384	위상배열	SAR	2,3 kW	Airbus
TECSAR	X	TWTA	-	8	반사판	SAR	1,6 kW	Elta
SAR-Lupe	X	TWTA	-	1	반사판	SAR	-	TAS
COSMO Skymed	X	TRM	3,2	1,280	위상배열	SAR	3,6 kW	TAS
RISAT	C	TRM	10	288	위상배열	SAR	3,9 kW	IAI
Sentinel-1	C	TRM	16	280	위상배열	SAR	4,3 kW	Airbus
KOMPSAT-5	X	TRM	4	512	위상배열	SAR	2 kW	TAS
ALOS-2	L	TRM	34	180	위상배열	SAR	5,1 kW	Melco
CryoSAT-2	Ku	SSPA	25	1	반사판	SAR-고도계	-	TAS
Sentinel 3	C	SSPA	9	1	반사판	SAR-고도계	-	Airbus
	Ku	SSPA	20	1	반사판	SAR-고도계	-	Airbus

Amplifier) 또는 SSPA와 같은 고출력 증폭기를 이용하여 단일 증폭기에서 큰 전력을 송신하는 경우와 비교적 작은 전력의 송수신모듈(TR module)을 사용하여 위상배열 안테나 소자에 각각의 송수신 모듈을 직접 연결하여 안테나 빔을 위상배열로 합성하여 총 출력 전력을 높게 만드는 2가지 유형이 대부분 사용되고 있다.

위성시스템에서 소모되는 전원 전력의 80~90 % 가 고출력증폭기에서 소모되기 때문 고출력증폭기의 효율은 위성시스템의 성능에 미치는 영향이 아주 크다고 할 수 있다. 효율이 높은 고출력증폭기를 사용할 경우 전원 전력 소모를 절약할 수 있으며, 이것은 위성체의 방열 및 열 관리를 보다 쉽게 할 수 있도록 하기 때문에 궁극적으로 위성의 수명을 연장하거나, 위성시스템의 크기를 줄일 수 있게 된다.

이렇게 고출력증폭기의 효율이 위성시스템에서 차지하는 비중 때문에 그동안 전력 효율을 50 % 이상으로 구현할 수 있는 TWTA가 주로 사용되어 왔다. 그러나 TWTA의 출력과 안테나 입력 간의 물리적으로 긴 전송선로로 인해 전송 손실이 발생하며, 이 전송 손실은 동작주파수가 높아질수록 증가되는 것을 피할 수 없게 된다. 그러므로 출력증폭기와 안테나 간의 전송선로 손실을 최소화함으로써 위성 시스템의 효율을 개선할 수 있는 능동 위상

배열 기술을 활용한 위성 SAR 시스템이 최근에 많이 개발되고 있다.

TWTA를 사용한 위성 SAR 시스템은 이스라엘의 TECSAR 위성이며, 이 위성에는 X-대역 TWTA를 10개 장착하고 있으며, 10개 중에서 8개를 이용하여 배열 급전 방식으로 빔 형성을 수행하는 것으로 파악되고 있다. TECSAR 위성의 최대 송신 전력은 1,6 kW인 것으로 조사되었다.

〈표 2〉에서 대부분의 위성 SAR 시스템은 송수신 모듈(TR Module)을 이용하여 위상배열 안테나를 사용하고 있는 것으로 파악되고 있으며, 이렇게 위상배열 안테나를 사용하고 있는 SAR 시스템의 최대 송신 전력은 2 kW 이상이며, 최근에 발사된 일본의 ALOS-2 위성의 경우 최대 송신 출력이 5.1 kW로 조사되어 TR Module의 성능이 기존의 SAR 시스템에 사용된 송수신 모듈보다 월등히 향상되었음을 알 수 있다^[3].

**TWTA는 최대 출력 전력에서의
전력 효율이 50% 이상으로 동작하기
때문에 고출력증폭기에 적합한 기술로
자리를 지켜왔다**

III. 송수신 핵심 부품 기술 현황

1. TWTA 고출력 증폭기 기술 현황

SAR 시스템의 레이더 신호 발생장치로부터 송신 주파수 대역의 신호를 입력받아 높은 출력 전력으로 증폭하



〈그림 1〉 Airbus 사의 C-대역 위성 SAR 용 TWTA

여 안테나에 공급하는 역할을 하는 증폭기를 고출력 증폭기로 분류하고 있다. 대표적인 고출력 증폭기로서 TWTA가 있으며, 수십 W~수백 W의 높은 출력 전력이 요구되는 위성 SAR 시스템이나 위성 통신 시스템에 대부분 사용되고 있다.

TWTA는 최대 출력 전력에서의 전력 효율이 50% 이상으로 동작하기 때문에 고출력증폭기에 적합한 기술로 자리를 지켜왔다. 〈그림 1〉은 유럽의 Airbus Defense & Space (구, ASTRIUM)사에서 개발하여 위성 SAR 시스템에 사용한 것으로 알려진 C-대역 TWTA의 사진을 보였다. 이 TWTA는 5.3GHz 대역에서 동작하며, 4.4 kW의 최대출력과 300 W 평균 출력 특성을 가지고 있는 것으로 파악되었다^[4].

최근의 위성 SAR 송신기에는 TWTA의 사용이 점차 감소되고 SSPA (Solid State Power Amplifier) 또는 TR Module의 사용이 대부분을 차지하고 있으며, 따라서 위성 SAR 시스템용 TWTA에 관한 정보를 찾아보기 어려운 실정이다.

그러나, 최근까지의 통신용 위성 탑재체에는 대부분 TWTA가 고출력증폭기로 사용되고 있으며, 위성용 TWTA를 공급하고 있는 회사는 미국의 L3-Communications (이하 L3), 일본의 NEC, 유럽의 TESAT, TAS (Thales Alenia Space) 와 Airbus Defense & Space (이하 Airbus) 사 등이 있다^[5]. 미국의 L3사에서는 Ka 대역 200 W 출력을 낼 수 있는 TWTA의 효율이 65% 정도인 것으로 파악되었다^[6]. 유럽의 TESAT 사에서는 60 GHz 대역까지 300 W 급 TWTA를 제작하

여 공급하고 있으며, 위성 SAR 시스템 중에 SAR-Lupe에 사용된 X-대역 TWTA를 개발한 것으로 파악된다^[7].

TWTA의 최대 단점으로서 TWTA를 구동하기 위해 요구 되는 수 k-Volt의 전원 공급 기술 및 그 장치 (Electronic Power Conditioner - EPC)의 구현이 동시에 요구된다는 점이다. 일반적인 위성 버스체의 전원이 수십 Volt 이기 때문에 수 k-Volt의 높은 전압을 출력하는 EPC를 구현하는 것 또한 고난이도의 기술이며, 이 EPC를 위성용으로 제작하는 것은 더욱 어려운 기술이기 때문에 TWTA의 높은 출력 전력 및 효율이라는 장점을 퇴색하게 한다고 할 수 있다. EPC에 대하여는 이후에 별도로 설명하고자 한다.

2. SSPA 고출력 증폭기 기술 현황

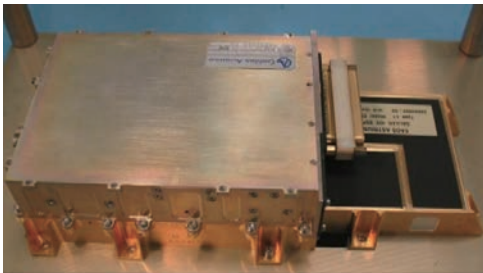
앞에서 살펴보았던 TWTA를 빠르게 대체하고 있는 새로운 고출력증폭기 기술이 반도체 증폭소자를 이용한 SSPA 기술이다. SSPA 기술은 최근의 고전력 증폭소자인 GaN HEMT 소자의 성능향상 및 제조 공정의 안정화에 따라 빠르게 발전하고 있다. 최근에는 GaN HEMT 소자를 이용하여 Ku 대역에서 100 W급 이상의 SSPA 개발이 가능한 것으로 파악되고 있다. 앞에서 살펴본 CRYOSAT-2 위성

SSPA는 내부에 여러 개의 트랜지스터를 이용하여 만들어지기 때문에 SSPA가 완전히 동작을 멈추는 경우는 거의 없으며 시스템의 성능에 손실이 있더라도 시스템이 동작할 수 있는 장점이 있다.

의 SAR 고도계용 송신기에 사용된 SSPA는 Ku-대역에서 25 W의 출력이 가능한 것으로 파악되었다

TWTA가 하나의 진공관을 이용하여 만들어지기 때문에 TWTA의 사소한 고장도 시스템의 동작을 멈추게 함으로 TWTA의 신뢰성은 매우 중요한 파라미터가 된다. 반면, SSPA는 내부에 여러 개의 트랜지스터를 이용하여 만들어지고, 여러 개의 트랜지스터 중에 일부의 트랜지스터가 고장이 나더라도 SSPA가 완전히 동작을 멈추는 것이 아니기 때문에 시스템의 성능에 손실이 있더라도 시스템이 동작할 수 있는 장점이 있다. 최근에는 SSPA의 신뢰성이 TWTA보다 높은 것으로 평가되고 있다.

1980년대 이후에 10 W 내외의 고출력증폭기의 필요 분야에서 SSPA가 선호되고 있으며, 이것은 유사한 성능



〈그림 2〉 Airbus 사의 Galileo 위성용 L-대역 SSPA

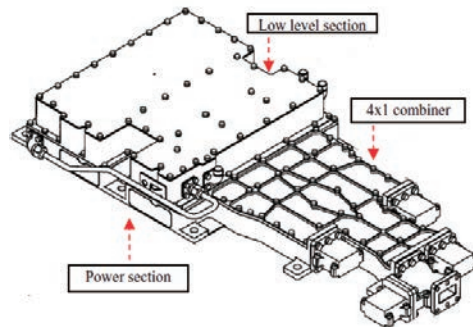
의 TWTA 보다 소형 경량화 고출력증폭기가 가능하기 때문이다^[8].

최근에는 위성탑재용 TWTA 제작 업체보다 위성탑재용 SSPA를 개발하는 신진 업체들이 많이 있는 것으로 파악되고 있다. 유럽의 Airbus, TESAT과 TAS, 일본의 Mitsubishi Electric (Melco)와 NEC Toshiba Space System, 그리고 미국의 L-3 등이 위성용 SSPA를 생산할 수 있는 것으로 파악되고 있으며, 대부분의 위성 탑재용 SSPA 생산 업체들은 위성탑재용 TWTA 생산 능력을 가지고 있는 업체들인 것을 알 수 있다.

최근에 개발되어 사용되고 있는 SSPA로서 Airbus사에서 GNSS 항법 위성인 GALILEO에 탑재한 50 W 급 L-대역 SSPA 가 있으며, 이 장치는 45 %의 효율을 가지는 것으로 파악되고 있다. 그리고, 현재 80 W 급 출력의 위성탑재용 SSPA를 개발 중인 것으로 소개되고 있다^[9]. 〈그림 2〉에 GALILEO 위성에 탑재된 50 W 급 SSPA의 사진을 보였다.

또 다른 유럽의 위성 및 군용 전자장비 개발업체인 TAS 사에서는 2012년까지 500개 이상의 SSPA를 위성탑재용으로 개발하여 납품한 것으로 조사되었으며, Ku-대역 SAR 고도계 위성인 CRYOSAT 및 SENTINEL 위성에 25 W 급 펄스모드 SSPA를 개발하여 납품한 것으로 파악된다. CRYOSAT 용 SSPA는 Ku-대역에서 25 W의 출력과 21 %의 효율을 구현한 것으로 파악되었다. 〈그림 3〉에는 CRYOSAT 용 Ku-대역 SSPA의 조립형상 도면을 보였다. 또한 C-대역에서 130 W 급 펄스 모드 SSPA를 개발하여 납품한 것으로 나타나있다^[10].

SSPA는 TWTA에 비하여 제작하는 기술자의 숙련도가 비교적 낮게 요구되며, 수십 volt의 전원으로 동작할 수



〈그림 3〉 TAS 사의 CRYOSAT용 25 W SSPA

있으며, 소형/경량화에 장점을 가지고 있다. 또한 통신 시스템에서 요구되는 신호에 대한 선형성 특성이 TWTA보다 우수하며, 유사한 반도체 소자들로 구현되는 선형화기 하드웨어와 일체형으로 구현하는데 장점을 가진다. 무엇보다도 지금까지 알려진 바에 의하면, SSPA가 TWTA보다 저비용으로 개발 및 제작할 수 있다는 것이 가장 큰 장점 중에 하나이다.

SSPA의 경우 TWTA에서 요구되는 수 k-Volt의 전원 전압이 요구되지 않고 50 V 이하의 전원이 요구되기 때문에 TWTA의 또 다른 부속 장비인 고전압 EPC는 필요하지 않으며, 저전압 DC-DC Converter 기능과 EPC에 포함된 그 외의 기능들이 필요하기 때문에 TWTA용 EPC보다 소형으로 구현될 수 있으며, 따라서 SSPA와 일체형으로 구현할 수 있는 장점을 가지고 있다. SSPA용 EPC에 대하여도 TWTA용 EPC와 함께 별도로 설명하고자 한다.

3. TR Module 기술 현황

앞에서 설명한 SSPA 기술과 유사한 기술인 TR Module 기술을 이용한 능동위상배열 안테나 기술의 송신 시스템의 성능을 고려할 때 TWTA를 이용한 송신 시스템의 성능을 추월하고 있는 것이 현실이다. 최근의 지상 레이더 시스템 및 항공기용 레이더 시스템은 능동위상배열 안테나 기술을 이용하여 그 성능 및 기능에 있어서 눈부신 발전을 이루어내고 있는 것이 사실이다.

이것은 TWTA 및 SSPA가 위성 SAR 시스템에 사용될 때 불가피하게 요구되는 안테나 입력까지의 전송선로 손실을 최소화하여 시스템 효율을 높이는 동시에 안테나 송신 출력을 높일 수 있는 능동위상배열 안테나 기술이 최

근의 반도체 기술의 발전에 의해 가능해졌기 때문이다.

〈표 2〉에서와 같이 본 논문에서 조사된 바에 의하면 최근의 위성 SAR 시스템은 능동위상배열안테나 기술을 활용하는 것이 훨씬 더 많은 것이 사실이다. TR Module을 이용하는 위성 SAR 송신기의 경우 단위 TR Module의 출력 전력은 수 W에서 수십 W에 불과하지만, 최대 송신 출력은 수 kW에 이르고 있으며, 이것은 TWTA를 이용한 SAR 시스템의 송신 출력 보다 높은 것으로 파악되고 있다. 이처럼 통신 및 레이더 시스템에 있어 송신신호의 출력 전력이 높아질수록 통신 거리 또는 레이더의 탐지 거리가 증가되기 때문에 시스템의 성능이 향상된다는 장점을 가지게 되며, 궁극적으로 위성 탑재체의 경우 안테나의 크기를 감소시킬 수 있어 위성의 무게 및 크기를 감소시킬 수 있기 때문에 위성 개발 및 발사 비용의 절감이 가능하게 된다.

앞에서 설명한 TWTA나 SSPA와 달리 TR Module은 단방향 증폭기가 아니라, 양방향 증폭기의 특성을 가지고 있다. 즉 송신신호 발생 장치로부터의 송신 신호를 고출력 증폭하여 안테나에 전달하고, 안테나로 수신된 신호를 저잡음 증폭하여 수신신호 처리 장치로 전달하는 기능을 동시에 수행할 수 있는 장치이다. 여기에 더하여 TR Module은 송수신 신호를 증폭하여 전달하면서 송수신 신호의 위상과 진폭을 조절할 수 있는 기능을 포함하고 있어, 위상배열 안테나 소자에 연결되는 신호의 크기와 위상을 제어함으로써 안테나 시스템의 빔 방향 및 크기 등을 조절할 수 있는 기능을 제공한다. 이때 위성체의 자세가 변하지 않고 전기적으로 안테나 빔을 조절할 수 있기 때문에 위성체 및 안테나의 기계적인 작동 없이 정밀하게 안테나의 지향 방향을 조절할 수 있게 된다.

TR Module을 구성하는 초고주파 부품으로는 고출력 증폭기와 저잡음증폭기, 그리고 초고주파 스위치와 위상변위기가 공통적으로 사용되는 것으로 알려져 있으며, 몇몇 시스템은 그 기능에 안테나 운용 개념에 따라 신호의 크기를 조절할 수 있는 가변 감쇠기를 포함하기도 한다. 또

TWTA나 SSPA와 달리 TR Module은 단방향 증폭기가 아니라, 양방향 증폭기 특성을 가지며, 송신신호를 고출력 증폭하여 안테나에 전달하고, 안테나의 수신신호를 저잡음 증폭하여 수신신호 처리 장치로 전달한다.



〈그림 4〉 TerraSAR-X의 TR Module의 내부 사진

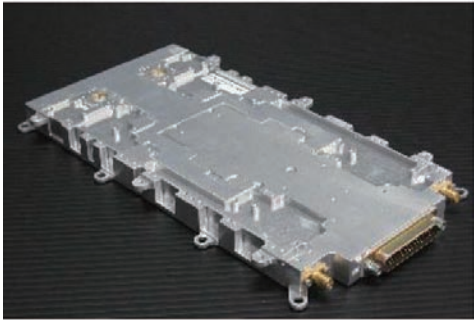


〈그림 5〉 TerraSAR-X의 TR Module의 RF sub-module

한 안테나 연결부에는 써큘레이터 또는 초고주파 고전력 스위치를 이용하여 송신신호의 수신 경로 누설을 저감시키는 기능을 하도록 하여 수신 경로상의 부품의 손상을 방지하게 된다. 위성 SAR용 TR Module은 유럽의 TAS와 AIRBUS, 일본의 Mitsubishi Electric, 그리고 이스라엘의 IAI 등에서 개발한 경험을 가지고 있는 것으로 파악되고 있다.

〈그림 4〉에는 제작된 TR Module의 내부 사진을 보였다. 그리고 〈그림 5〉에는 TR Module 내부에 사용된 전력증폭기와 저잡음 증폭기 및 다기능 RFIC등이 포함된 TR Module의 능동소자 RF sub-module의 내부 사진을 보였다. RF sub-module은 〈그림 4〉의 중앙 위쪽에 있는 글씨로 표시되어 있는 직사각형 부분이 해당된다^[11]. TerraSAR-X의 TR Module은 위상변위기와 가변 감쇠기가 모두 사용되었으며 수직 및 수평 편파 신호로 분리하기 위한 초고주파 고전력 스위치가 추가로 사용되었다.

TerraSAR-X의 TR Module은 9.6GHz의 송신신호를 6 W의 전력으로 안테나에 전달할 수 있으며, 4.3 dB의 잡음지수 특성과 30 dB의 증폭이득으로 안테나 수신신호를 증폭하여 수신신호 처리부에 전달할 수 있다. 이때 송수신 신호의 위상을 0 ~ 360도 까지 조절할 수 있으며, 신호의 증폭 이득을 20 dB 정도 조절할 수 있다.



〈그림 6〉 ALOS-2 SAR 송신기용 TR Module 사진

가장 최근에 발사된 위성 SAR 시스템인 일본의 ALOS-2 위성에는 L-대역 TR Module이 적용되었으며, 각각의 TR Module은 34 W의 출력을 낼 수 있는 것으로 파악되었다. 이 TR Module은 GaN HEMT를 이용하여 만들어진 최초의 위성 탑재용 부품으로 평가되고 있다

[3]. ALOS-2에 사용된 TR Module은 5 bit 디지털 제어 신호에 의하여 송수신 신호의 위상을 제어할 수 있다. 이 TR Module은 송신 모드에서 34 W 출력에 41% 효율 성능을 가지고 있으며, 수신 모드에서는 2.8 dB 잡음지수와 31 dB 증폭이 특을 가지고 있는 것으로 파악되었

다. 〈그림 6〉은 제작된 ALOS-2 위성 SAR 탑재체용 TR Module의 사진이다. 이 TR Module은 안테나 연결단에 써큘레이터 대신에 초고주파 스위치를 사용하고 있으며 TerraSAR-X와 달리 가변 감쇠기는 사용되고 있지 않은 것으로 파악되었다^[12].

지금까지 설명한바와 같이 최근의 위성 SAR 시스템에는 TR Module의 사용이 증가되고 있는 추세이다. 그러나 현재까지 Ku 대역 이상의 주파수 대역에서의 위성 시스템용 TR Module의 사용은 찾아보기 어렵다. 그것은 Ku 대역 이상에서 고출력증폭기의 출력 전력과 효율이 현저히 감소하는 특성과 관련이 있을 것으로 판단된다. 즉, 출력 전력이 낮고 효율이 낮을수록 시스템에서 해결해야 할 방열처리가 위성 SAR 및 통신 시스템의 성공적인 동작 여부를 결정짓는 중요한 요소로 작용하기 때문으로 판단된다.

그러나, 현재와 같은 GaN 반도체 소자의 발전 추세라면 가까운 미래에 Ku-대역 위성 SAR 시스템에도 TR Module을 적용하거나, X-대역 이하의 주파수 대역에서의 위성 SAR 시스템의 성능 향상에 개선된 TR Module이 큰 역할을 하게 될 것으로 예상된다.

4. EPC 기술 현황

EPC는 위성 버스체로부터 전원을 공급 받아 고출력증폭기에 필요한 전원으로 변화하여 공급하면서 고출력증폭기 및 EPC 자신의 상태를 실시간 모니터링하여 지상의 관제국에 그 상태를 전달하고, 반대로 지상의 관제국으로부터 고출력증폭기의 동작과 관련된 제어신호를 수신하여 고출력증폭기의 특성을 제어하는 역할을 하는 장치이다. 최근의 EPC는 고출력증폭기의 주변장치를 제어하는

기능까지 포함하기도 한다. 예를 들어 TWTA와 연결되는 선형화기 또는 채널증폭기의 전원관리와 동작을 EPC에서 제어하는 기능을 포함하는 것이 추세이다.

TWTA를 제어하는 EPC는 TWTA가 안정적으로 동작할 수 있도록 하는 수 k-Volt의 전원 변환

장치가 포함되어야 하는 것이 가장 어려운 기술이다.

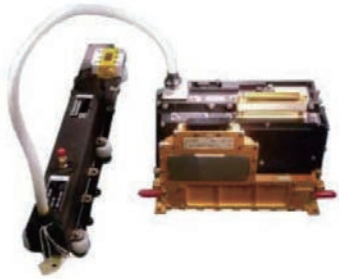
SSPA형태의 고출력증폭기 또는 TR module을 위한 EPC는 TWTA에 비하여 상대적으로 낮은 수십 Volt의 전압으로의 전원 변환이 필요하며, 따라서 EPC에 필요한 구성 부품들의 동작 전원이 수십 Volt로 낮아지기 때문에 구성 부품의 선택 및 사용에 있어 훨씬 수월하게 된다.

위성용 고출력증폭기를 위한 EPC의 제작 능력을 가지고 있는 업체는 대부분 위성용 TWTA를 제작하는 업체들이다. 즉, Airbus, TESAT, TAS, L-3, 그리고 NEC 등이 있다.

L3사에서는 Regulated Bus 전원으로 600 W DC 출력의 EPC 제작 기술을 보유하고 있으며, 이 EPC는 전원 변환 효율이 94% 이상인 것으로 파악된다^[6].

TAS 사의 EPC는 Regulated Bus 전원에 대하여 550 W DC 출력의 EPC 제작 기술을 보유하고 있으며, 전원

EPC는 위성 버스체로부터 전원을 공급 받아 고출력증폭기에 필요한 전원으로 변화하여 공급하면서 고출력증폭기를 제어하거나, 고출력증폭기의 상태를 모니터링하는 역할을 한다.

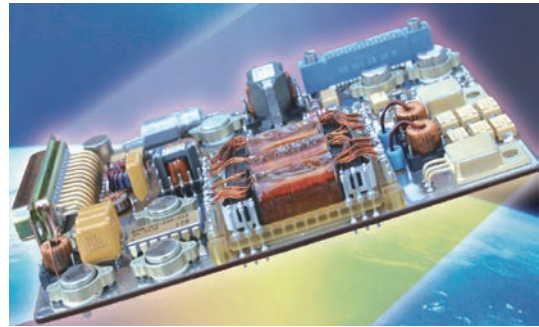


〈그림 7〉 TAS 사의 위성용 EPC-TWTA 제품

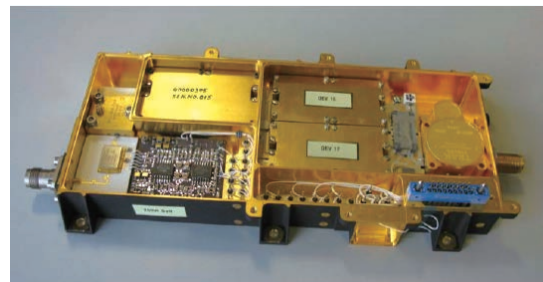
변환 효율은 95 % 정도인 것으로 조사되었다. 〈그림 7〉은 TAS 사의 TWTA와 연결된 선형화기가 포함된 EPC의 모습을 보여주고 있다^[13].

SSPA용 EPC는 수십 Volt 전원을 위한 DC-DC Converter가 요구되며, 위성용 SSPA를 제작하는 업체에서 기술을 보유하고 있는 것으로 판단된다. 그 외에 반도체 스위칭 소자를 이용한 저전압 DC-DC Converter 개발업체들이 위성용 SSPA에 적용할 수 있는 DC-DC Converter 기능의 EPC를 개발하여 사용하고 있는 것으로 조사되었다. 조사된 업체 중에 International Rectifier (IR)사의 EPC는 GaAs FET를 이용하는 SSPA에 3종의 전원 전압을 공급할 수 있는 특성을 가지고 있으며, 〈그림 8〉에는 조립된 PCB 보드 사진을 보였다. 이 제품의 경우 9 V로의 전원 변환 효율이 93 % 정도로 매우 우수한 것이 특징이며, 그 외에 반도체 증폭소자의 구동 전압인 -5 V 전원과 +5 V 전원을 출력으로 제공할 수 있다^[14]. 이와 같은 EPC 보드를 이용하여 SSPA 모듈에 직접 장착할 경우 별도의 EPC가 필요하지 않은 EPC 일체형 SSPA 모듈의 제작이 가능하게 된다.

최근의 GaN HEMT 기반의 SSPA를 위한 EPC는 Airbus 사에서 개발하여 사용한 경험을 가지고 있는 것으로 조사되었으며, 그 특성은 GaN HEMT를 위한 30 V 출력 전원으로서의 변환 효율이 90% 이상인 것으로 조사되었다^[15]. 또한 유사한 기술을 이용하여 S-대역 SSPA에 EPC 회로를 내장하여 통신위성용으로 개발하였으며, 230 W 출력의 SSPA의 효율은 EPC 포함하여 47 %를 가지는 것으로 보고되었다. 〈그림 9〉는 개발된 S-대역 SSPA의 내부 사진을 보였으며, 모듈의 왼쪽 아래 부분의 PCB 보드 부분이 EPC 기능으로 추측된다^[16].



〈그림 8〉 IR 사의 SSPA 용 EPC 보드 사진



〈그림 9〉 AIRBUS 의 S-대역 EPC 포함 SSPA 사진

최근에 개발되고 있는 반도체 소자를 이용한 SSPA 및 TR Module을 위한 EPC 또는 DC-DC Converter는 높은 전원 효율을 유지하기 위한 기술개발이 필요할 것으로 판단되며, SSPA 용 증폭소자가 요구하는 높은 전류에 대하여 저항성 전원손실이 최소화될 수 있는 회로 부품의 개발이 동시에 요구되는 것으로 판단된다.

VI. 위성 SAR 송수신 부품 기술 전망

최근의 위성탐재 영상레이더인 위성 SAR는 능동위상배열레이더 기술을 이용하여 그 성능의 향상과 기능의 다양화가 추구하고 있다. 위상배열 기능을 이용한 실시간 빔 조정 및 다중 빔을 이용한 다중 지역 동시 촬영 기능, 그리고 스폿빔 (Spot Beam) 기능을 이용한 국부지역 고 해상도 촬영 기능 등이 가능해졌으며, 앞으로 이러한 기능이 더욱더 성능이 개선될 것이며, 추가가적인 기능의 실현이 가능해질 것으로 예측된다. 이러한 기능들은 과거의 단순한 단일빔 레이더 기술로는 불가능했던 기능들이었음은 분명한 사실이다.

이렇게 볼 때 능동위상배열 레이더의 핵심 부품인 전개



형 배열안테나 기술과 함께 고성능 TR Module의 가치가 더욱 높아질 것이며, 이를 위한 반도체 기술과 하드웨어 제작 기술의 발전이 필연적으로 함께하게 될 것으로 예상된다.

반면에 수십 년 동안 위성 SAR 및 위성 통신 시스템을 가능하게 해주었던 TWTA의 활용도는 점차 감소될 것이며, 특히 X-대역 이하의 주파수 대역에서는 가까운 미래에 GaN HEMT 증폭기 기술에 의해 대체 될 것으로 예상된다. 그러나 앞으로 십년 이상 동안에도 Ka-대역 이상의 주파수 대역에서의 통신용 위성시스템에는 TWTA의 자리는 유지될 것으로 예상된다.

위성 SAR용 능동위상배열 레이더 기술을 위한 TR Module 기술이 극복해야 할 고난이도 기술로서 소형 모듈의 효과적인 방열처리 기술이 있으며, 이에 앞서 TR Module의 효율 개선 기술이 필요하다고 볼 수 있다. 위성 시스템의 전원이 한정된 유한한 자원임을 인식할 때 위성 SAR 탑재체가 소모하는 전력의 대부분을 점유하는 고출력증폭기 또는 TR Module의 전원 효율은 위성체의 수명을 좌우하는 가장 중요한 요소가 된다고 볼 수 있다. 이렇게 DC-DC Converter의 전원 변환 효율의 개선과 TR Module의 RF 변환 효율을 개선하여 탑재체에서 소모되는 전원에 의하여 발생하는 발열량을 감소시키면 탑재체의 방열처리가 용이해지며, 이것은 탑재체의 기구적인 단순화 및 소형 경량화의 결과로 나타날 것이다. 탑재체의 소형 경량화는 위성체의 발사 비용 절감과 위성체의 신뢰도 개선으로 이어질 것은 분명한 사실이다.

위성 탑재체에 사용되는 부품은 수십만 시간 동안 고장 없이 동작해야 위성을 운용하는 비용에 낭비가 없는 것이 분명하기 때문에 위성 탑재 부품의 신뢰도는 그 부품의 사용 가능 여부를 결정짓는 최종의 평가기준이 된다. 최근의 조사 결과에 따르면 2013년까지 통신위성에 탑재되어 사용되었거나 사용 중인 수백개의 TWTA와 SSPA의 총 사용 시간과 고장율 등을 비교할 때 2005년 이전까지는 TWTA가 조금 더 고장율이 낮았던 것으로 파악되었으

며, 2005년 이후로 SSPA의 고장율의 개선에 따라 SSPA의 고장율이 TWTA 보다 낮아지는 추세인 것으로 파악되고 있다^[17]. 2005년 이전 결과의 주요한 요인은 SSPA에 비하여 TWTA의 RF 변환 효율이 훨씬 높기 때문이라고 예측된다. 그러나 2000년대의 초고주파반도체 기술의 발전에 따라 그 장점을 이용하기 위한 패키지 및 모듈 조립 기술 및 재료 개발을 위한 노력의 결과로 초고주파 반도체에 의한 발열을 처리하는 기술이 발전하고 있으며, 또한 최근의 GaN 반도체 기술에 의한 고출력/고효율 전력증폭기의 개발에 따른 발열량 감소 및 높은 동작 온도 특성 등에 의하여 SSPA의 고장율이 감소하고 있는 추세라고 판단된다.

**위성 탑재체에 사용되는 부품은
수십만 시간 동안 고장 없이 동작해야
위성을 운용하는 비용에 낭비가 없기
때문에 위성 탑재 부품의 신뢰도는
그 부품의 사용 가능 여부를 결정짓는
최종의 평가기준이 된다.**

V. 결론

본 논문에서는 지구 관측을 위한 위성탑재 전파 영상레이더인 위성 SAR 시스템의 송수신 핵심 부품 기술에 대하여 그 주요한 기능 및 기술 동향 등에 대하여 살펴보았다.

2014년에 한국항공우주연구원에서 발사에 성공한 다목적위성인 아리랑5호(KOMPSAT-5) 위성에는 X-대역 전파영상 레이더인 SAR 시스템이 탑재되어 운용중이며, 이것은, 미국, 유럽, 일본, 중국, 러시아, 인도, 이스라엘 등의 소수의 국가에서만 보유하고 있는 위성 SAR를 우리나라가 보유하게 된 중요한 의미가 있다고 판단된다. 하지만 대부분의 주요 핵심 부품들은 해외 선진업체에서 제작하여 납품한 것으로 알려져 있어 국내 기술력이 아직 우주용 핵심 부품을 개발할 수 있는 수준에 도달하지 못했음을 알게 하는 아쉬운 사실이다.

그러나 본 논문에서 살펴본바와 같이, 최신의 위성 SAR 시스템용 핵심 부품 기술은 초고주파 반도체를 이용한 소형 경량화 된 TR Module 기술을 중심으로 발전하고 있으며, 이 기술이 선진국에서도 최근에 개발되어 그 기술의 성숙도가 아직 완전하지 않으며, 따라서 지속적인 획기적인 발전이 필요한 분야임이 분명하다. 따

라서 1990년대 이후 눈부시게 발전한 국내 초고주파 부품 기술 수준을 비취보고, 최근의 우주 기술을 향한 국내 기술의 발전을 함께 공유하여 관련 기술에 연구개발 투자를 확대한다면 가까운 미래에 국내 기술력으로 위성 SAR용 부품 및 시스템을 개발할 수 있을 것이라 확신하는 바이다.

참고 문헌

- [1] 곽영길, “위성탐재 영상 레이다 기술 동향”, 한국전자파학회지, 제 22권, 제6호, pp.4-15, 2011년11월.
- [2] 정호령, 임호숙, “외국 SAR 위성의 기술개발 동향”, 항공우주산업기술 동향, 제7권, 제2호, pp.25-32, 2009년2월.
- [3] Yukihiro Kankaku, Yuji Osawa, Shinichi Suzuki, and Tomohiro Watanabe, “The over view of the L-band SAR Onboard ALOS-2,” Proceedings of PIERS20009, pp.735-738, Aug. 2009.
- [4] AIRBUS Defense & Space, “Radar Travelling Wave Tube Amplifier,” [online] <http://www.space-airbusds.com/en/equipment/radar-travelling-wavetube-amplifier-twta-jvw.html>
- [5] B Coaker and T. Challis, “Traveling wave tubes: modern devices and contemporary applications,” Microwave J2008;51(10):32-46
- [6] L-3 Communications, “Space Qualified TWTA Products,” [online] http://www2.l-3com.com/eti/downloads/summarytable_space.pdf
- [7] Tesat SapceCom, “Fact, Products and Services,” [online] http://www.tesat.de/images/stories/PDF/AP_Broschure_2014.pdf
- [8] Colantonio P, Giannini F, and Limiti E, High efficiency RF and microwave solid state power amplifiers, John Wiley & Sons, Ltd.: West Sussex, United Kingdom, 2009.
- [9] Airbus Defence and Space, “L band Navigation SSPA,” [online] <http://www.space-airbusds.com/en/equipment/l-band-navigation-sspa-sje.html>
- [10] Thales Alenia Space, “Solid State Power Amplifier,” [online] <https://www.thalesgroup.com/sites/default/files/asset/document/SSPA-2012.pdf>
- [11] Dietmar Pilz and Peter Feldle, “RF-Payload of TerraSAR-X,” Proceedings of GeMIC2005, Ulm, Germany, pp. 140-143, Apr., 2005.
- [12] Satoshi Ogura, Tomohiro Mizutani, Hideki Hatakeyama, Shinichi Eguchi, and Kenichi Hariu, “High Power L-band T/R Module Utilizing GaN HPA for Satellite Use,” Proceedings of 29th AIAA ICSSC, Nara, Japan, pn. AIAA2011-8008, Nov. 2011.
- [13] Thales Alenia Space, Data Sheet of Electronic Power Conditioner for Single or Dual TWTA [online], https://www.thalesgroup.com/sites/default/files/asset/document/EPC_single-dual_TWTA102012.pdf
- [14] International Rectifier, “E Series – World Class Efficiency EPC for Satellite SSPA Applications,” [online] http://www.irf.com/product-info/fact_sheet/hirel-sspa.pdf
- [15] Airbus Defense & Space, “High Temperature Electronics and EPC for GaN SSPA Application,” [online] <https://artes.esa.int/projects/high-temperature-electronics-and-epc-gan-sspa-application>
- [16] C.R. Green, and C.D. Seymour, “80W GaN SSPAs for Space Flight Application,” Microwave Symposium Digest (IMS), 2013 IEEE MTT-S International, vol., no., pp.1,3, June 2013.
- [17] Whitney Q. Lohmeyer, Raichelle J. Aniceto, and Kerri L. Cahoy, “Communication satellite power amplifiers: current and future SSPA and TWTA technologies.” International Journal of Satellite Communications and Networking., John Wiley & Sons, Mar. 2015.



장동필

- 1992년 2월 충남대학교 전자공학과 학사
- 1994년 2월 충남대학교 전자공학과 석사
- 2007년 8월 충남대학교 전자공학과 박사
- 1994년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원

〈관심분야〉

초고주파 및 밀리미터파 능동 부품, 위성탑재체,
레이더 시스템 및 레이더용 초고주파 부품



엄만석

- 1987년 2월 중앙대학교 전자공학과 학사
- 1989년 2월 중앙대학교 전자공학과 석사
- 2007년 2월 중앙대학교 전자공학과 박사
- 1992년 9월~현재 한국전자통신연구원 책임연구원

〈관심분야〉

위성시스템, 레이더 시스템, 초고주파 및 밀리미터파
능동/수동 부품



엄인복

- 1990년 2월 충남대학교 전자공학과 석사
- 2007년 8월 충남대학교 전자공학과 박사
- 1990년~현재 한국전자통신연구원 위성무선RF
기술연구실 실장, 책임연구원

〈관심분야〉

위성시스템, 레이더 시스템, 초고주파 능동/수동 부품