

# SAR 안테나 기술

김 세 영

국방과학연구소

## I. 서 론

영상 레이더(SAR)는 전자광학(E-O)센서나 적외선 센서와는 달리 전자파를 이용함으로써 비, 구름 등의 기상 조건이나 주야에 관계없이 영상 수집이 가능하며, 운용 모드가 다양하여 광역 관측, 정밀 관측 및 식별이 가능한 특징을 보유하고 있다. SAR는 한반도 및 주변 지역에 대하여 전천후 고해상도 전파 영상 정보를 획득할 수 있으므로 광범위한 활용이 가능하다. SAR 시스템은 크게 수동형 안테나를 탑재한 수동형 SAR 시스템과 능동형 안테나를 탑재한 능동형 SAR 시스템으로 구분할 수 있다. 수동형 안테나는 주로 반사경(reflector) 안테나와 고풍력 증폭관(TWTA) 등을 사용하는 방식으로서, 수동형 SAR 시스템은 빔 조향 가변 능력, 광역 관측 기능, 다중 편파 기능 및 장시간 영상 획득 능력 면에서 단점이 있지만 고해상도 영상 획득, 단순한 구조의 소형 경량, 적은 개발 비용 등의 장점이 있다. 수동형 SAR 시스템은 고해상도 영상 획득을 위한 좁은 지역에서의 목표물 식별이 주목적이며, 능동형 SAR 시스템은 고해상도 영상 및 넓은 지역에서의 표적 탐지 및 다중 편파를 이용한 다양한 목표물 정보 획득이 주목적으로 구분할 수 있다.

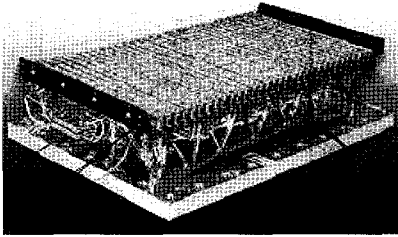
능동형 안테나는 주로 패치(patch) 안테나와 분산형 반도체 송신관(T/R 모듈) 등을 사용하는 방식으로서, 능동형 SAR 시스템은 신속한 빔 조향 가변 능력, 다중 모드, 다중 편파 영상 획득 능력 면에서 장점이 있지만 고해상도 영상 획득, 상대적으로 복잡한 안테나 구조로 인해 탑재체 중량이 많이 나가고, 개발 비용이 많이 소요되는 단점이 있다. <표 1>은

<표 1> 능동형 안테나와 수동형 안테나 특성 비교

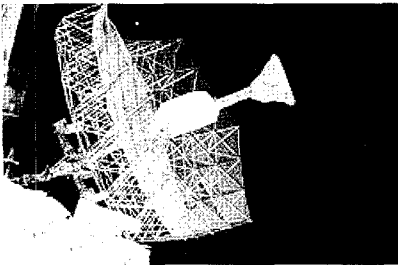
항목	능동형 안테나	수동형 안테나
빔 조향 능력	빠르고 넓은 전자 빔조향	위성체 기동에 의한 빔 조향
광역 관측 전환	용이함	제한됨
안테나 효율	70~90 %	50~70 %
무게	무거움	가벼움
복잡도	매우 복잡	단순함
편파 특성	다중 편파	단일 편파
기술 발전 방향	유망 기술	검증된 기술
Redundancy	Graceful degradation	별도 예비 부품

능동형 안테나와 수동형 안테나의 특성을 비교한 것을 나타낸다.

향후 SAR 기술 발전 추세로는 현재 수동형 SAR 시스템은 단일 편파 기능만을 보유하고 있지만, 다중 편파 기능을 추가하여 다양한 영상 정보 획득, 수십 cm급 고해상도 영상 획득을 위한 시스템으로 발전할 것으로 전망된다. 능동형 SAR 위성 시스템은 현재 1 m급인 해상도를 절반 정도까지 향상시키고, 고해상도/광역관측 기능을 동시에 충족시킬 것으로 전망된다. [그림 1]과 [그림 2]는 능동형 안테나와 수동형 안테나에 대한 예시를 나타내고 있다. 본 논문에서는 SAR 탑재 능력에 따라 위성용 SAR 시스템과 항공용 SAR 시스템으로 분류하여 안테나 발전 추세를 살펴볼 것이며, 또한 SAR 시스템 성능 지수와 안테나 패턴이 미치는 영향을 기술적으로 살펴볼 것이다.



[그림 1] 능동형 안테나 예시



[그림 2] 수동형 안테나 예시

## II. 본 론

### 2-1 SAR 안테나와 시스템 성능지수 고찰

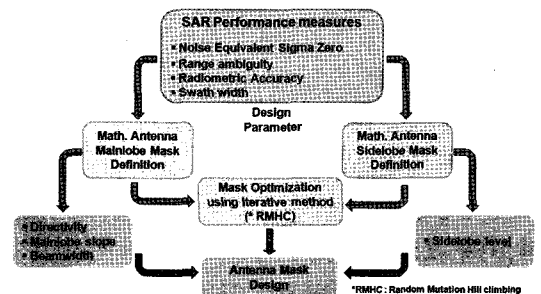
SAR 안테나 특성이 SAR 시스템 성능 지수와 가지는 기술적 특성을 살펴보면 다음과 같다. SAR 안테나 패턴은 시스템 성능에 큰 영향을 미친다. 안테나 패턴이 SAR 시스템 성능지수들 중에 직접적으로 영향을 주는 변수로는 NESZ(Noise Equivalent Sigma Zero), ASR(Ambiguity Signal Ratio), RA(Radiometric Accuracy) 그리고 Swath width 등이 있다. 특히, ASR 변수는 좋은 영상 질을 유지하기 위해서 낮은 값으로 유지되어야 한다. ASR 성능은 AAR(Azimuth Ambiguity Ratio)과 RAR(Range Ambiguity Ratio)로 구성되며, AAR은 PRF 값의 적절한 조절로서 제어할 수 있는 시스템 성능 변수이며, RAR은 안테나 부엽 레벨 특성에 크게 영향을 받게 된다. Swath width 내에서 RAR 성능을 향상시키기 위한 방법은 시스템 변

수와 기하 변수로부터 계산되는 모호 영역에서의 부엽 레벨을 최소화시키는 것이다. 안테나 주엽 레벨, 빔폭 그리고 평탄 특성은 SAR 시스템의 신호대 잡음비(SNR), Swath width 그리고 방사 특성인 RA 특성에 크게 영향을 미치며, 부엽 레벨은 모호 특성인 RAR에 크게 영향을 미치게 된다. [그림 3]은 SAR 성능지수를 최적화시키기 위해서 요구되는 안테나 주엽과 부엽 레벨의 설계를 위한 개념 구성도를 나타내고 있다. 기본적으로 반복적 최적화 기법을 이용하여 시스템 변수를 통하여 주엽과 부엽에 대한 안테나 마스크를 설계하게 된다.

안테나 주엽 마스크 템플릿에 대한 설계를 위해서는 기본적으로 SAR 시스템으로부터 정의되는 SNR 식으로부터 식 (1)과 같이 결정된다.

$$\begin{aligned}
 P_{MLL} &= [G_t \cdot G_r]_{dB} \\
 &= [4(4\pi)^3 V_s k T_o NFB L_t]_{dB} \\
 &\quad + [R_i^3 \sin \psi_i]_{dB} \\
 &\quad - [\lambda^3 c \tau P_t PRF Nesz_{req}]_{dB}
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서  $i$ 는 빔폭 내에서 near와 far 사이에서의 입사 각도에 대한 스텝을 나타낸다.  $G_t, G_r$ : 안테나 송수신 패턴,  $V_s$ : 비행체 속도,  $T_o$ : 등가 잡음 온도,  $L_t$ : 전체 손실 항목,  $N_F$ : 시스템 잡음지수,  $c$ : 빛의 속도,  $\tau$ : 송신 펄스폭,  $B$ : 신호 대역폭을 나타낸다.



[그림 3] SAR 성능 최적화를 위한 안테나 주엽 및 부엽 패턴 설계 기법

안테나 부엽 마스크 템플릿에 대한 설계를 하기 위해서는 RAR 요구 조건으로부터 시작된다. [그림 4]는 거리 모호성을 PRF에 따라 설명하는 개념도이다. 영상 획득 지역을 이산 분포 지역으로 가정한 경우 RAR은 식 (2)와 같이 정의된다.

$$RAR(t_k) = \frac{P_{a,k}}{P_k} \quad (2)$$

관측영역 내에서  $k$ 번째 순간에 정의되는  $P_{a,k}$ 는 거리에 따른 모호 전력을 나타내며,  $P_k$ 는 표적 전력을 나타낸다.

$$P_{a,k} = \sum_{j=-N, j \neq 0}^{+N} \frac{\sigma_{k,j} G(\theta_{k,j})}{R_{k,j}^3 \sin(\psi_{k,j})} \quad (3-1)$$

$$P_{a,k} = \frac{\sigma_{k,0} G(\theta_{k,0})}{R_{k,0}^3 \sin(\psi_{k,0})} \quad (3-2)$$

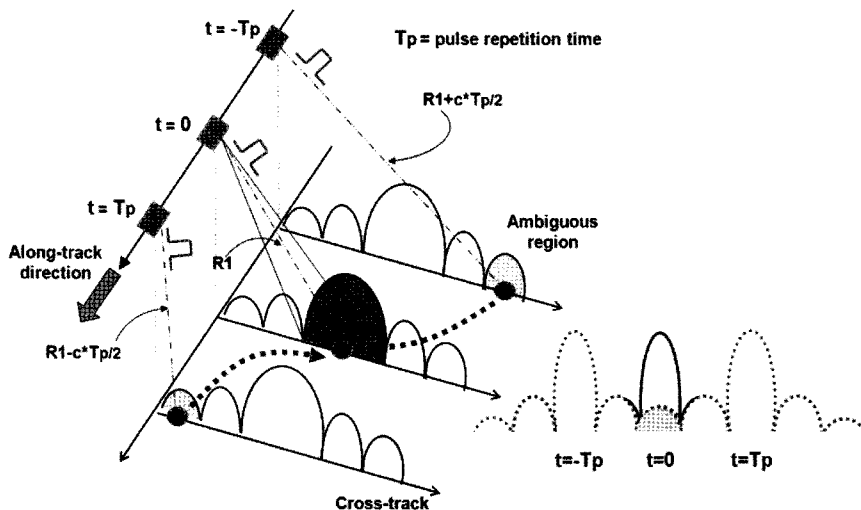
여기서  $j=0$ 은 방사 순간에서의 송신신호를 나타내며,  $j \neq 0$ 을 제외한 나머지 성분들은 거리에 따른 모

호 성분들을 나타낸다. 위의 두 식과 시스템에 할당된 RAR 값으로부터 부엽 레벨에 대한 마스크를 설계하면 식 (4)와 같다.

$$P_{SLL} = \left[ \frac{\sum_{j=-n, j \neq 0}^{+n} G(\theta_{k,j})}{G(\theta_{k,0})} \right]_{dB} = [RAR_{req}(t_k)]_{dB} + \left[ \frac{\sigma_{k,0}}{R_{k,0}^3 \sin(\psi_{k,0})} \right]_{dB} + \left[ \sum_{j=-n, j \neq 0}^{+n} \frac{R_{k,j}^3 \sin(\psi_{k,j})}{\sigma_{k,j}} \right]_{dB} \quad (4)$$

### 2-2 위성 탑재용 SAR 안테나 기술 동향

위성 탑재용 SAR 안테나는 시스템의 성능에 큰 영향을 미치고 있으므로 구현할 수 있는 기술적 한계성에 의해 많은 영향을 받고 있다. 감시 영역에 대한 정찰 범위, 민첩성 그리고 빔조향 방식 등을 고려하여 현재까지 위성 탑재용 안테나로는 능동형 위상 배열 안테나와 수동형 반사판 안테나가 대부분 개발되고 있다. SAR 시스템에 대한 선진국의 기술적 특성을 살펴보면 다음과 같다.



[그림 4] 거리 모호성 특성

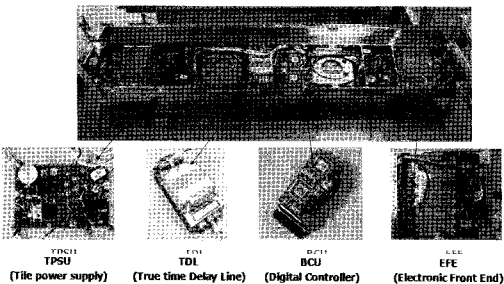
### 2-2-1 Cosmo SkyMed 위성

SkyMed 위성은 군용 및 민수용의 두 가지 목적으로 설계된 지구 관측 시스템이다. SkyMed의 주요 임무는 국방부 요구사항에 대한 감시 및 정찰, 위협성 관리(risk management), 산림 현황 조사, 지도 작성, 해안선 및 해양 감시, 지질학(geology) 및 수문학(hydrology) 연구, 경작지 관리 등이다. Cosmo SkyMed는 능동 위상 배열 안테나로서 다중 편파 능력을 보유한 마이크로스트립 패치 안테나로 구성되어 있으며, 부배열 단위로 여러 개의 타일(tile)이 장착되어 있으며, 1개의 타일은 32개의 T/R 모듈로 구성되어 있다. [그림 5]는 타일 내부 전면 구성도를 나타내고 있으며, TPSU, TDL, BCU 및 EFE 모듈로 구성되어 있다. 또한 후면에는 복사 소자와 T/R 모듈로 구성되어 있다. [그림 6]은 위상 배열 레이더의 핵심 구성품인 T/R 모듈 내부 구성도를 나타내고 있다. [그림 7]은 Cosmo SkyMed 안테나 전체 형상을 나타내고 있다. 자는 HH, VV, HV, VH의 네 가지 편파 중 하나를 선택할 수 있는 모드와 HH, VV, HV, VH의 네 가지 편파 중 둘을 선택할 수 있는 모드로 구성되어 있다.

### 2-2-2 TerraSAR-X 위성

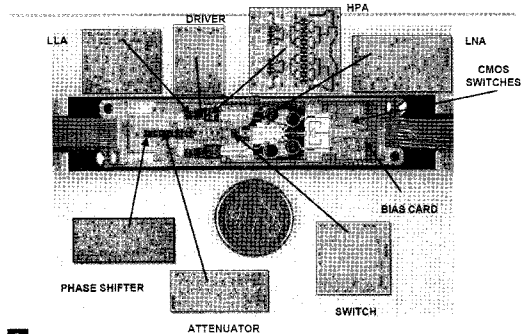
TerraSAR-X는 독일의 DLR과 EADS Astrium GmbH 사이에 맺어진 public-private partnership을 통하여 개발된 x-대역 밴드 위성 SAR 시스템이다. TerraSAR-X

• Tile Internal Layout



[그림 5] 타일 내부 구성도

COSMO X-band T/R Module

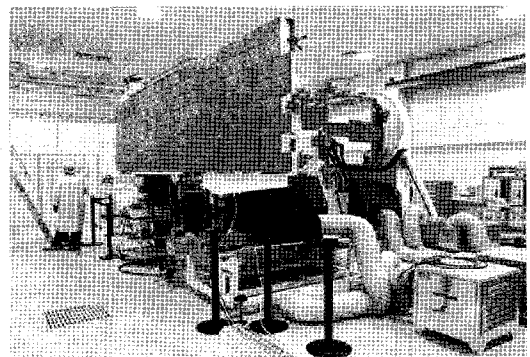


[그림 6] T/R 모듈 내부 구성도

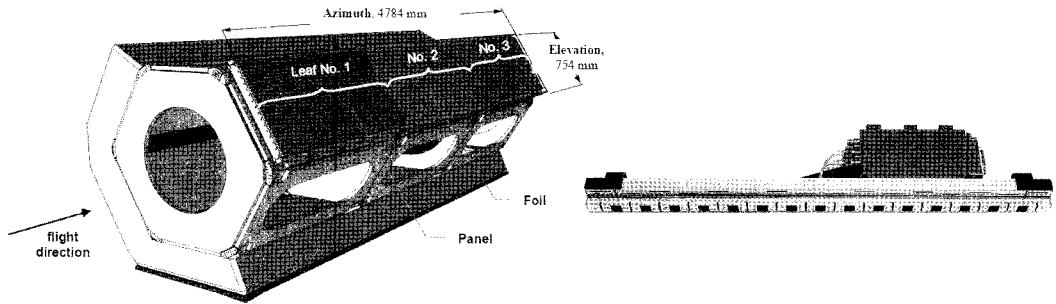
는 능동형 다중 편파 도파관 위상 배열 안테나를 채택하며, 반도체형 송신기(T/R 모듈)를 사용한다. [그림 8]은 TerraSAR-X 안테나 구성도 및 이중편파 부배열 T/R 모듈의 구성을 나타내고 있으며, [그림 9]는 TerraSAR-X에 적용된 핵심 기술들을 나타낸다.

TerraSAR-X 안테나의 기술적 특징을 살펴보면 다음과 같다.

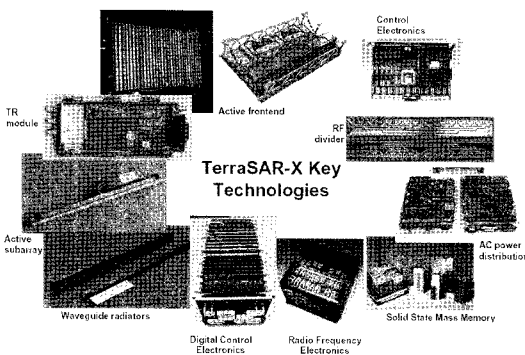
- 고해상도 영상 운용을 위한 넓은 대역폭
- 다중 편파 특성: Quad-pol 및 Dual-pol 모드(HH, VV, HH/VV, VV/HV)
- 다양한 영상 획득 모드(ScanSAR, Spotlight, Dual receive mode)
- 능동 위상 배열 안테나를 채택한 신기술(Along



[그림 7] Cosmo SkyMed 안테나 전체 형상



[그림 8] TerraSAR-X 안테나 구성도 및 이중편파 부배열 T/R 모듈



[그림 9] TerraSAR-X에 적용된 핵심 기술들

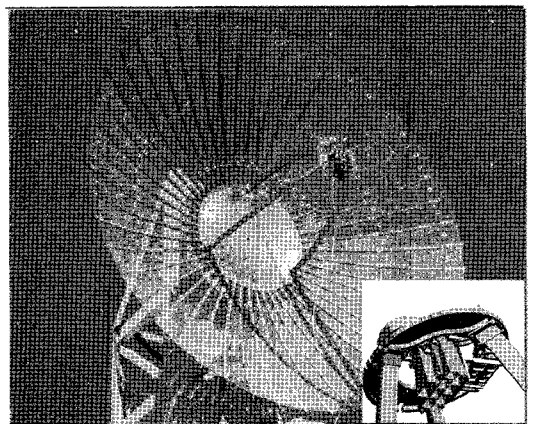
track interferometry, Moving target detection)

- 고해상도, 편파 정보, 방사 정확도, InSAR 처리를 위한 위상 정확도 및 MTI 기능
- 높은 임무 효율과 순간적인 영상 모드 전환 가능
- 전자 빔 조향과 롤축 회전을 통하여 높은 ground coverage와 agility 제공

### 2-2-3 TECSAR 위성

이스라엘 항공사(IAI)는 이스라엘의 항공기와 위성을 주관하는 회사로 이스라엘의 첫 번째 저궤도 위성인 OFEQ 1을 1998년에 발사한 후 계속적으로 위성을 제작하여 발사하였으며, 모든 위성은 무게가 300 kg 이하인 경량 위성이다. Elta Systems는 IAI의 자회사로 지난 20년간 SAR 탐재체와 영상처리소와 영상처리 소프트웨어를 포함한 SAR 지상 수신소를 개발하였

으며, IAI/MBT Space Division은 소형 위성을 제작하는 기술과 ELTA의 SAR 탐재체의 경험을 바탕으로 TECSAR 위성을 개발하였다. TECSAR는 이스라엘의 첫 번째 SAR 위성으로 설계 수명은 4년이나 태양의 활동과 위성의 운행 고도에 따라 8년까지 수명이 연장될 수 있다. TECSAR 위성체는 고해상도 X 밴드 경량의 레이다이다. 이스라엘 국방부가 개발 예산을 지원하고 있으며, 이스라엘 발사체의 적재 중량을 고려하여 위성체 질량이 300 kg 이하인 소형 경량화된 위성이다. 우산처럼 펼칠 수 있는 수동형 안테나 8개의 혼 그리고 8개의 분산형 소형 TWTA와 빔 조향 장치를 이용하여 상대적으로 넓은 빔 조향이 가능하다. 운용 모드는 고해상 모드, 표준해상 모드, 모자



[그림 10] TECSAR 안테나 및 피드 어레이 구성도

이크 모드, 광역모드 등을 가지고 있다. [그림 10]은 TECSAR 안테나 및 피드 어레이 구성도를 나타내며, <표 2>는 안테나 주요 변수를 나타낸다.

TECSAR 탑재체는 고해상도 X 밴드 영상 레이더로 5개의 모듈로 구성되어 있다.

- Radar Signaling and Control(RSC)
- Multi-tube Transmitter(MTT)
- Deployable Parabolic Mesh Antenna
- On-Board Recorder(OBR)
- Data-Link Transmission Unit(DLTU)

TECSAR의 빔 steering 성능은 MTT에서 만들어진 power를 안테나의 feed array의 여러 feeder에 입력하는 것으로 가능하다. 각 feeder는 안테나의 초점에서부터 각각 다른 위치에 있으므로 공간에 multi-beam pattern을 형성할 수 있다. 안테나의 반사 표면은 carbon Fiber-Reinforced plastic(CFRP) Central Dish와 Mesh Sector의 두 부분으로 되어 있다. 반사 표면의 무게는 1.5 kg 이내이다. 전자 빔 steering 기능: 2.4도 roll(거리) 방향, 0.63도 step의 특성을 가지고 있다. Multi tube Transmitter(MTT)는 버틀러 매트릭스를 이용하여 전기적인 빔 조향 특성을 가지고 있다.

### 2-2-4 Condor-E 위성

NPO Machinostroenia에 의해 개발된 Condor-E 위성은 지구 표면 모니터링, 위급 상황 지역에 대한 정보

<표 2> 안테나 변수

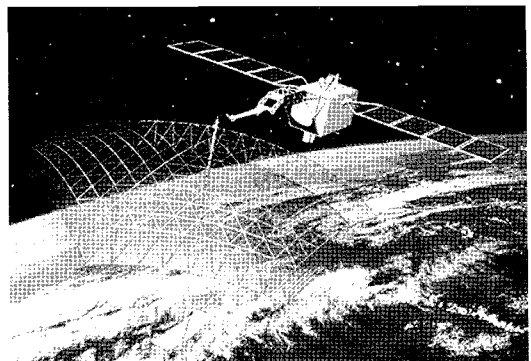
Parameter	Value
Operating band	X
Bandwidth	>200 MHz
Antenna diameter	~3 m
Antenna weight	21 kg
Number of transmission beams	8
Polarization	VV

수집 등의 다양한 임무를 수행할 수 있도록 설계되었다. SAR 센서는 다양한 대역에서 지구 원격 탐사에 대한 효율성과 하드웨어로의 실현 가능성 등을 모두 고려하여 결정되었다. 여러 가지 고려사항으로 인해 S 대역이 최적으로 결정되었으며, Detailed stripmap 모드와 Spotlight 모드에서는 1 m 해상도가 제공되고, ScanSAR 모드에서는 해상도는 저하되지만 더 넓은 지역을 영상으로 형성할 수 있다. [그림 11]은 Condor-E 위성의 상상도이다.

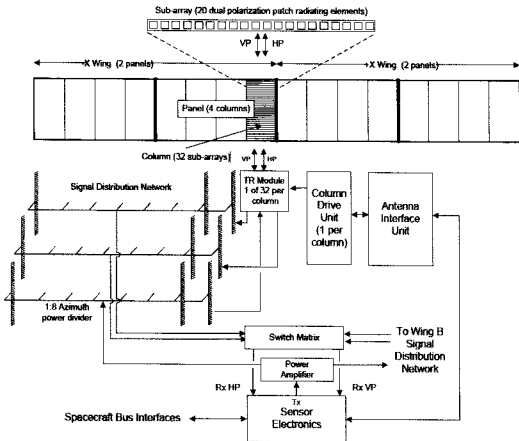
사용자들의 다양한 요구 조건을 충족시키기 위해 Spotlight Mode(SLM), Detailed Stripmap Mode(DSM), Survey Mode(SM), ScanSAR Mode(SSM)가 지원된다. Condor-E SAR 안테나의 직경은 6 m이고, 무게는 95 kg으로 구성되어 있다. 안테나 빔 조사 방향은 안테나를 고각 방향으로 움직이고 플랫폼 이동 방향에서 양쪽 사이드로 안테나를 돌림으로써 변경 가능하다. SAR 시스템은 송신기(transmitter), 신호 생성기(signal former: reference generator), 두 개의 수신 채널, 초고주파 채널, ADC(Analog-to-Digital Converter), 제어 유닛, 인터페이스 유닛, 동기기(synchronizer) 등으로 구성되어 있다.

### 2-2-5 RadarSAT-2 위성

RadarSAT-2는 상업적으로 이용할 수 있는 가장 발전



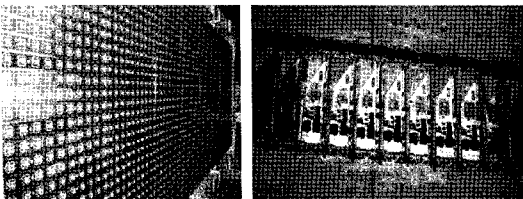
[그림 11] Condor-E 위성의 상상도



[그림 12] RadarSAT-2 안테나 구성도

된 영상 레이더 시스템 중의 하나이다. RadarSAT-2 프로그램은 원래의 RadarSAT 프로그램과 연속성을 가지고 있으며, 캐나다의 지구 관측 사업 분야와도 관련이 있다. [그림 12]는 RadarSAT-2 안테나 구성도를 나타내며, [그림 13]은 부배열 구성도 및 T/R 모듈을 나타낸다.

C 밴드에서 작동할 때는 RadarSAT-2의 SAR는 RadarSAT-1의 모든 모드를 지원하며, 더 향상된 해상도와 모든 편파 옵션을 지원한다. 이러한 더 향상된 RadarSAT-2의 기능은 수백개의 T/R 모듈(Transmit-Receive Module)로 구성된 위상 배열 안테나(Phased Array Antenna)를 사용함으로써 가능해졌다. 컴퓨터로 제어되는 안테나는 빔 조향을 전자적으로 수행할 수 있으며, 작동 모드를 순간적으로 전환할 수 있다. RadarSAT-2는 Standard and Wide Swath, Polarimetric, Fine



[그림 13] RadarSAT-2 부배열 구성도 및 T/R 모듈

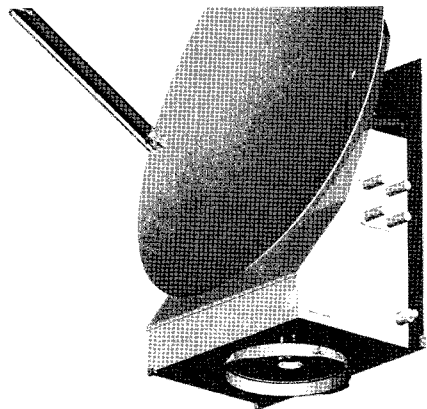
Resolution, ScanSAR의 4가지 모드로 작동 가능하다. <표 3>은 RadarSAT-2에서 사용하는 위상 배열 안테나의 사양을 나타냈다.

### 2-2-6 SAR\_Lupe 위성

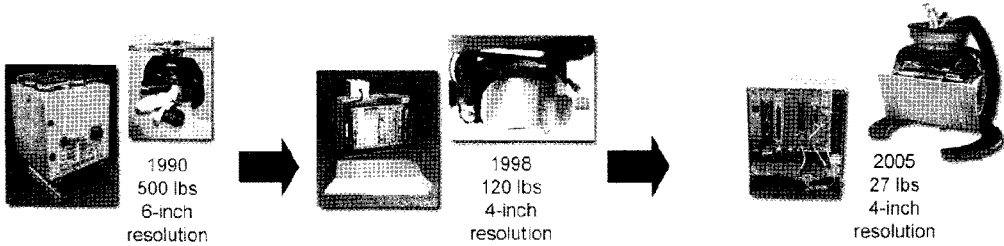
독일 국방부의 지원으로 OHB사가 개발하고 있는 SAR Lupe는 초고해상도 성능을 갖는 소형 위성 5개를 동시에 운영하는 계획으로 개발하고 있다. SAR-Lupe는 군용 SAR 위성의 특성을 고려하여 초고해상도 목표물 식별 및 관측용으로 개발하고 있다. 약 3 m의 반사경 안테나와 고출력 TWTA를 장착하고 있으며, 고해상 모드와 표준 해상 모드의 2가지 영상 획득 모드만 가지고 있으며 광역 관측 기능은 없다. 안테나는 2 feeds를 가진 윙셀 파라볼라 형태를 가지고 있으며, 단일 편파 및 X-대역에서 운용된다. [그림 14]는 파라볼라 형태의 SAR-Lupe 안테나를 나타내고 있다.

<표 3> 위상 배열 안테나의 사양

Frequency band	C-Band (5.405 GHz)
Subarray	512
Channel polarization	HH, HV, VH, VV
Imaging spatial resolutions	3~100 meters
SAR antenna dimensions	15×1.5 m



[그림 14] SAR-Lupe 안테나 구성도



[그림 15] 항공기 탑재형 SAR 안테나 및 시스템 발전 방향(Sandia Lab 발췌)

### 2.3 항공기 탑재용 SAR 안테나 기술 동향

항공기 탑재용 SAR 안테나는 빔 조향의 편리성과 기술적인 위협 요소를 최소화하기 위하여 대부분 수동형 안테나 구조를 사용하고 있다. 안테나는 반사판 형태의 파라볼라 안테나와 평면 배열 형태의 도파관 슬롯 안테나가 사용되고 있다. 또한, 근거리 탐지 목적으로는 마이크로스트립 패치 안테나를 이용하여 무게를 최소화시키고 있다. 주파수 대역은 X/Ku/Ka 등 다양한 대역에서 사용되고 있으며, 최대 4 inch 이하의 해상도를 얻기 위하여 안테나는 초광대역, 초경량 마이크로스트립 배열 안테나가 사용되어진다. 또한 RF 모듈의 경우 다층 LTCC 구조를 이용하여 필터를 매립 형태로 제작함으로써 상/하향 변환기를 최소화 시켜 개발하고 있다.

항공기 탑재용 SAR 안테나는 대부분 파라볼라 안테나 혹은 평면 배열 슬롯 형태의 도파관 안테나가

대부분으로서 SAR 모드와 GMTI 모드를 수행할 수 있도록 2채널 형태를 사용하고 있다. 항공기 SAR 시스템으로는 고고도 운용이 가능한 Global Hawk가 있으며, 비행체 배면의 레이돔에 안테나가 장착되어 좌우로 탐지가 가능하다. 현재 운용되고 있는 항공기 탑재용 SAR 장비를 살펴보면 다음과 같다. [그림 15]는 항공기 탑재형 SAR 안테나 및 시스템 발전 방향을 나타내고 있다.

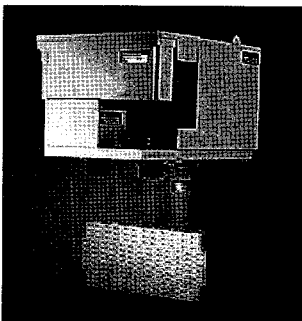
#### 2-3-1 EL/M-2055 SAR/MTI

이스라엘 IAI/ELTA에서 개발한 장비로서, UAV Reccce 탑재 장비로 SAR와 GMTI 능력을 보유하고 있다.

SAR는 Strip, Spot 그리고 GMTI 모드를 제공한다. 안테나는 슬롯 배열 도파관 안테나로서 김발에 의해 구동되는 특징을 가지고 있다. [그림 16]은 EL/M-2055 SAR 안테나 형상과 시스템을 나타낸다.

#### 2-3-2 I-Master

2004년 탈레스에서 도입한 SAR 시스템으로서 UAV 플랫폼에 탑재되어진다. I-master는 2,000 km<sup>2</sup>/hr 영역을 탐지할 수 있으며, 표적 식별 능력을 보유하고 있다. 또한 Strip, Spot 그리고 GMTI 모드를 제공하고 있다. 모든 신호 처리는 on-board 처리가 가능하며 장비는 LRU 단위로 설계되었고, EO 탑재체와 호환이 가능한 구조로 개발되었다. 안테나는 슬롯 배열 도파관 안테나로서 김발에 의해 구동되는 특징을 가지고 있다. [그림 17]은 I-Master SAR 시스템과 일체형으로 개발



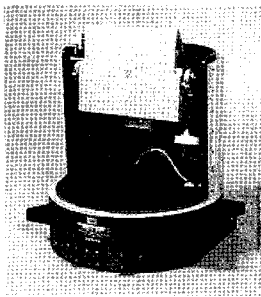
[그림 16] EL/M-2055 SAR 안테나 형상



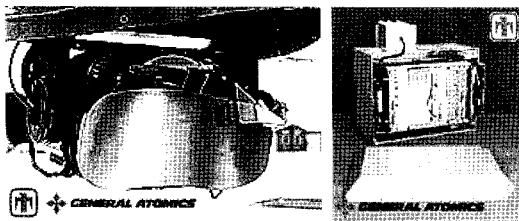
된 안테나 형상을 나타낸다.

### 2-3-3 Lynx/An/Apy-8

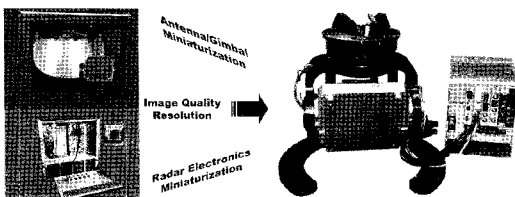
미국 General Atomics 사에서 개발한 장비로서 Lynx 는 SAR와 GMTI 모드에서 동작하는 다기능 장비이다. 총무게는 52 kg으로서 레이더 전자 장비와 안테나/김발 구조로 개발되었다. 해상도는 최대 0.1에서 3 미터 능력을 보유하고 있다. 레이더는 또한 10~70 kph 속도로 움직이는 표적을 탐지할 수 있다. An/Apy-8 Lynx II 장비는 미공군 Predator RQ-1 UAV에서 동작하는 초경량 Lynx 장비이다. [그림 18]은 Lynx SAR 안테



[그림 17] I-Master SAR 안테나 형상



[그림 18] Lynx SAR 안테나 형상



[그림 19] MiniSAR 안테나 형상

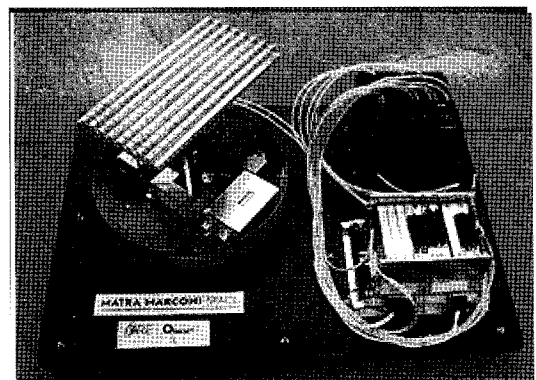
나 형상을 나타낸다.

### 2-3-4 MiniSAR

미국 Sandia Labs은 Lynx SAR 시스템을 개발한 회사로서, 소형화된 Ku 대역 SAR 시스템을 또한 개발하였다. Lynx의 성능을 대부분 유지하면서 더욱 소형화되었다. MiniSAR 는 총 25 lbs로서 미래에는 18 lbs 로 축소될 예정이다. RQ-7A Shadow 급의 UAV에 탑재될 수 있도록 개발되었다. 운용 주파수는 16.7 GHz 로서 SPOT 모드에서 최대 4인치 해상도를 가지고 있다. 운용 모드로는 StripMap, Stereo-SAR, GMTI 및 CCD 능력을 가지고 있다. [그림 19]는 MiniSAR 안테나 형상을 나타낸다.

### 2-3-5 QuaSAR

유럽 EADS/Astrium 사에서 개발한 장비로서, 전술용 UAV 플랫폼에 탑재 가능한 장비로 기존의 위성 SAR 프로그램인 CORE(Common Radar Elements) 프로그램으로부터 개발된 장비이다. QuaSAR 장비는 대략 30 kg이며 장비 구성에 따라 최대 100 kg까지 중량이 나온다. 유사 장비들과 달리 Ka와 Ku 대역에서 동작하며, L, S, C, Ku 그리고 X 대역에서 동작할 수 있도록 설계되어 있다. 해상도는 최대 0.3~3 m 정도이며, MTI 능력을 보유하고 있다. 60,000피트의 고도



[그림 20] QuaSAR 안테나 형상

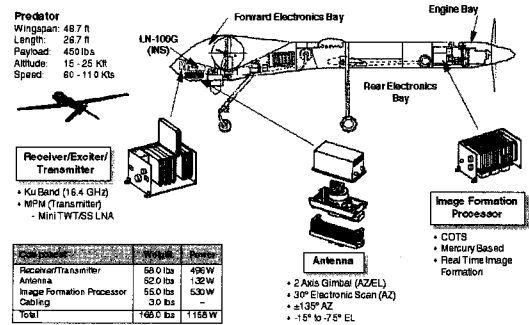
에서 최대 20~115 km 탐지가 가능하다. [그림 20]은 도파관 슬롯 안테나를 나타내고 있다.

### 2-3-6 TESAR

TESAR(Tactical Endurance Synthetic Aperture Radar) 장비는 연속적으로 0.3 m 해상도를 제공하는 strip 모드를 제공한다. 영상은 실시간으로 형성되며, Predator 플랫폼에 탑재될 수 있다. 안테나는 2축 gimbal (AZ/EL)로 구성되어 있으며, AZ 방향으로 30도 범위에서 전자전 스캔이 가능하다. <표 4>는 TESAR 시스템의 성능을 나타내며, [그림 21]은 TESAR 전체 구성 및 안테나 형상을 나타낸다.

## III. 결 론

현재 SAR 시스템에서 사용되는 다양한 안테나에 대하여 살펴보기 위하여, SAR 장비가 탑재되는 플랫폼에 따라 위성용 SAR 시스템과 항공용 SAR 시스템으로 분류하여 안테나 개발 추세를 기술적으로 살펴보았다. 또한 SAR 안테나와 시스템 성능 지수에 대하여 간략적으로 살펴보았으며, 시스템 성능지수를 이용하여 안테나 마스크를 설계하는 방법에 대하여 살펴보았다. 위성용 SAR 시스템의 경우, 능동형과



[그림 21] TESAR 전체 구성 및 안테나 형상

수동형 안테나가 운용 목적에 따라 선택적으로 사용되고 있으며, 항공용 SAR 시스템의 경우 대부분 수동형 안테나가 많이 사용되고 있다. 안테나는 기술적으로 고해상도를 목표로 하기 때문에 점점 더 광대역 특성이 요구되며, 빔 조향 및 탑재 성능을 향상시키기 위하여 초경량으로 발전하는 추세이다. 세계 각국의 SAR 안테나 개발 동향을 살펴봄으로써 현재 국내에서 개발되는 SAR 안테나의 설계 능력, 기술적 문제점, 제작능력 및 발전 방향에 대한 전반적인 추세를 살펴볼 수 있게 되었다.

## 참 고 문 헌

- [1] International Online Defense Magazine Year 2005 Issue: 2.
- [2] [www.sandia.gov/RADAR/sar.html](http://www.sandia.gov/RADAR/sar.html)
- [3] C. Grenier, I. Barnard and P. Arsenault, "The RADARSAT-2 synthetic aperture radar phased array antenna hardware modeling and analysis (system approach)", *EUSAR2004*, Ulm, Germany.
- [4] R. Levy-Nathansohn, U. Naftaly, "Overview of the TECSAR satellite modes of operation", in *Proc. EUSAR*, Dresden, Germany, May 2006.
- [5] A. Herschlein, C. Fischer, H. Braumann, M. Stangl, W. Pitz, and R. Werninghaus, "Development and mea-

<표 4> TESAR performance

	Performance
Impulse response	
3 dB width	.3 Meter +/- 10 %
18 dB width	< 3 Resolution Cells
IPR envelope	< 20 Log((2.59/U)²+1) - 30
	U = Res cell distance range:
Additive noise coefficient	< -25 dB through all ranges and speeds
Multiplicative noise ratio	< -10 dB
Absolute radar cross section calibration	< 10 dB (3s)

surement results for TerraSAR-X Phased Array", *5th European Conference on Synthetic Aperture Radar, EUSAR 2004*, pp 505-508, Ulm, Germany, May 2004.

[6] S. Y. Kim, N. H. Myung, and M. J. Kang, "Antenna

mask design for SAR performance optimization", *IEEE Geoscience Remote Sensing Letters*, vol. 6, no. 3, pp. 443-447, Jul. 2009.

≡ 필자소개 ≡

김 세 영



1993년 2월: 단국대학교 전자전기공학과 (공학석사)

1993년 3월~현재: 국방과학연구소 선임 연구원

2010년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)

[주 관심분야] 레이더 및 영상 레이더

시스템 설계