

위성 탑재 영상 레이다 기술 동향

곽영길(한국항공대학교)

요약

최근 영상 레이다(SAR) 기술의 급속한 발전으로 전천후로 초고해상도의 표적탐지 및 식별이 가능해짐에 따라 군사용으로는 물론 과학 민수용으로 활용범위가 넓어지고 있다. 특히 2000년대 들어서 유럽 여러 국가에서는 군용 및 민수용으로 유사한 성능의 저궤도의 고해상도 원격탐사 위성을 경쟁적으로 개발하고 있다. 현재 2007년을 정점으로 1-3년 내에 유사이래 최고 많은 위성들을 발사할 계획을 가지고 있어서 비로소 “저궤도 위성 SAR 전성시대”로 진입할 것으로 보인다. 우리나라에서도 다목적 실용위성 5호에 SAR를 탑재하는 최초의 레이다 관측위성을 개발하고 있다. 본 논문에서는 최근 위성 SAR 개발 동향을 중심으로 위성 SAR 기술 특징과 기술 발전 추세에 관하여 소개한다.

1. 개요

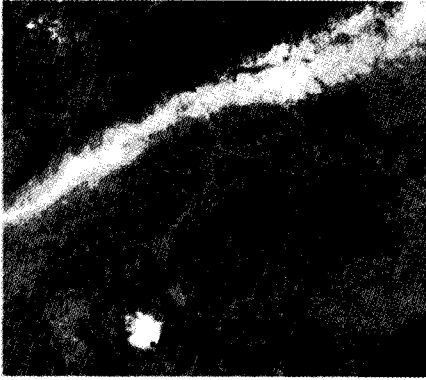
영상레이다 SAR(Synthetic Aperture Radar)는 전자파를 이용하는 능동센서로 비, 구름, 안개 등

기상조건이나 주야간, 역광 등 일조현상에 관계 없이 전천후로 광범위한 지역의 영상 획득이 가능하다. 또한 일반 레이다의 방위방향 해상도는 주어진 안테나 크기에 제약을 받지만 SAR는 합성 빔 원리를 이용하여 파장이나 탐지거리에 무관하게 고해상도의 영상을 얻을 수 있는 특징이 있다. 따라서 SAR 영상은 주로 홍수, 기름유출, 지진과 같은 자연재해 및 환경감시 분야와 지구 탐사 및 농작물 작황 등의 자원탐사 분야에 널리 사용되고 있다. 특히 최근 초고해상도의 표적 영상형성과 표적 식별기술이 발전함에 따라 군사 목적으로 국경감시나 군사시설 탐지 등 필수적인 감시정찰 수단으로 활용도가 높아지고 있다. 또한 SAR는 지구 온난화 현상으로 더욱 불규칙해지는 기상 변화에 무관하게 지속적으로 영상을 획득할 수 있는 장점이 있으므로 종래의 광학 영상에 비하여 영상 획득율이 높아 SAR 위성 영상의 활용이 더욱 증대될 추세이다. 특히, 한반도는 입지적으로 삼면이 바다로 둘러싸인 반도국가로서 기상변화가 많고 강우 및 구름 길 확률이 연평균 50% 이상이므로 고해상도 영상정보 획득 효율면에서 SAR 레이다 위성의 역할은 광학 카메라 위성에 비해 더욱 중요해질 전망이다.

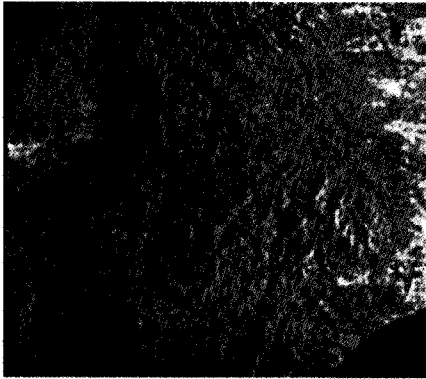
SAR 기술은 1951년 Carl Wiley가 DBS (Doppler Beam Sharpening) 이라는 초기 SAR 개념의 방위 해상도 향상 원리를 발명한 이래 50여년 동안 많은 기술발전을 가져왔다. 1978년 미국 최초의 SAR 위성인 SEASAT을 시작으로, NASA의 우주 왕복선 SIR-A/B/C/X와 2000년 SRTM (Shuttle Radar Tomography Mission)에 이르기 까지 많은 위성 SAR 영상을 획득하였다. 군사적으로 미국은 고해상도의 Lacross SAR 위성의 지속적인 개발과 운용으로 세계 경찰국가의 역할을 주도하여 왔으나 향후 재방문 주기가 매우 짧고 초고해상도의 SAR 위성을 성단으로 운영하는 저궤도 정찰 위성을 계획하고 있다. 유럽 우주국(ESA)의 ERS-1/2, ENVISAT, 캐나다 우주국(CSA)의 RADARSAT-1, 일본 우주국(JAXA)의 JERS-1 등은 1990년대의 대표적인 SAR 과학 및 환경 탐사 위성이며, 대부분 임무 운용수명이 다하여 새로운 후속 위성을 개발하고 있다. 특히 2000년대 들어서 유럽 여러 국가에서는 독일의 TerraSAR-X, SAR-Lupe, 이스라엘의 TecSAR, 이탈리아의 Cosmo Skymed 등 소형 경량의 군용 및 민수용의 저궤도, 고해상도 원격탐사 위성을 경쟁적으로 개발하고 있다. 현재 2007년을 정점으로 이들 대부분의 위성들을 현재 발사하거나 또는 1-5년 내에 발사할 계획을 가지고 있어서 유사이래 최고 많은 저궤도 SAR 위성들의 경쟁으로 인하여 비로소 “저궤도 위성 SAR 전성시대”로 진입할 것으로 보인다. 우리나라에서도 다목적 실용위성 5호에 SAR를 탑재하는 최초의 레이다 관측위성을 개발하고 있다. 본 논문에서는 최근 위성 SAR 개발 동향을 중심으로 현재 개발 중인 위성 SAR 기술 특징을 소개하고, 향후 활용과 기술발전 추세에 관하여 소개한다.

II. 영상 레이다 (SAR) 기술

영상 레이다의 해상도는 거리방향 해상도와 방위방향 해상도로 구분되며 광학영상의 2차원적인 영상과 동일한 화소 의미를 가진다. 공간상의 SAR 영상 해상도는 안테나의 빔 폭이 좁을수록 비례적으로 좋아지므로 실제 개구면을 사용하는 일반 레이다 RAR (Real Aperture Radar)의 경우 해상도를 증가시키기 위해서는 실제 안테나의 개구면을 매우 크게 만들어 주어야한다. 그러나 물리적으로 안테나를 수 Km 길이로 만들 수 없으므로 영상 레이다 (Synthetic Aperture Radar)에서는 위성이나 항공기 등의 비행체를 이용하여 일정 비행 이동거리 동안 빔을 합성하여 안테나의 길이를 매우 길게 만들어 주는 효과를 이용함으로써 방위각도 해상도를 증가시킨다. 방위 해상도는 그림 1 (a)와 같은 모델을 이용하여 일반적인 레이다의 방위 해상도는 $\delta_a = R_s \frac{\lambda}{L_a}$ 로 주어진다. 여기서 R_s 는 경사 탐지거리, λ 는 송신 주파수 파장, L_a 는 안테나의 물리적인 길이이다. 따라서 일반 RAR의 방위 해상도는 안테나의 길이에 비례하여 좋아지며, 탐지거리에 비례하여 나빠진다. 그러나, SAR의 경우 합성 안테나 길이는 표적과의 거리에 비례하여 길어지므로 거리에 관계없이 일정한 방위 해상도를 유지할 수 있으며, SAR의 최대방위 해상도는 $\delta_{a,max} = L_w/2$ 로 주어진다. 또한 거리방향 해상도는 송신 펄스의 대역폭에 비례하여 해상도가 증가한다. 그림 1 (b)의 기하구조에서 보는 바와 같이 지상 거리방향 해상도는 입사각도에 따라 다음과 같이 $\delta_r = \frac{c}{2B \sin \theta}$ 로 주어진다. 여기서 c 는 빛의 속도, B 는 펄스 대역폭, θ 는 입사각이다. 레이다에서 거리방향 해상도는 송수신 파형의 펄스 폭에 따라 결정되며 레이다 신호의 대역폭을 넓게 생성함으로써 거리



(a) 광학영상



(b) 레이다 영상

〈그림 2〉 SAR 영상 비교

위한 변조와 증폭의 과정이 수행되며 최종적으로 데이터링크 안테나를 통해 데이터를 송신한다. 지상체는 수신처리소와 임무관제소로 구성되며, 수신처리소는 지상수신 안테나부, 데이터 수집 및 전처리부, SAR영상 형성부 및 영상 응용부로 구성된다. 영상 형성부에서 SAR 원시 데이터의 진폭과 위상정보를 이용하여 신호를 압축함으로써 레벨 1의 기본 영상을 형성하게 된다. 이 기본 영상은 전파경로상의 보정이나 지구 기하적인 보정을 거친 다음, 스테레오 영상, 3차원 간섭영상, 모자이크 영상 등 활용목적에 따라 다

양한 정보를 추출할 수 있게 된다. SAR반사신호의 진폭크기 정보를 이용하면 표적인식, 변화감지, 스테레오 지도 등을 만들 수 있고, 인터페로메트리를 이용한 위상정보를 이용하면 DEM(Digital Elevation Map)정밀 고도정보 추출은 물론 더욱 정밀한 변화탐지, 분류 등에 이용할 수 있다.

III. 위성 영상 레이다 개발 동향

레이다가 최초로 독일에서 1904년에 Christian Hulsmeyer에 의해 개발된지 한 세기 역사를 넘고 있다. SAR는 레이다가 개발된 지 50년이 지나서 1951년 미국의 Carl Wiley가 DBS (Doppler Beam Sharpening)이라는 초기 SAR 개념의 방위 해상도 향상 원리를 발명한 이래 50여년 동안 많은 기술발전을 가져왔다. 미국은 1978년에 세계 최초로 고도 800km, 해상도 25m, 관측폭 100km의 특성을 갖는 SEASAT을 개발하였다. 이후 1981년과 1984년에 개발된 SIR-A/B를 우주왕복선에 탑재하여 기술을 검증하였으며, C-밴드의 SAR(미국개발)와 X-밴드의 SAR(유럽개발)를 동시에 탑재한 SIR-C/X-SAR를 개발하여 1994년에 우주왕복선에 탑재 운용하였다. SIR-C/X는 전자 빔 조향에 의한 넓은 입사각 범위를 가지고 있으며 다중 편파 기술을 적용하였다. 2000년에는 독일과 공동으로 인터페로메트릭 SAR를 사용하는 SRTM을 개발하여 남위 60도에서 북위 60도까지 지구 주요지역의 디지털 고도지도 (DEM)를 구축하였다. 또한 군사위성으로 1988년 정찰용 LACROSSE-1을 시작으로 1991년에 LACROSSE-2, 1997년에 LACROSSE-3, 2000년에 LACROSSE-4, 2005년에 LACROSSE-5를 각각 발사하였으며, 현재

LACROSSE-6를 개발 중에 있다.

유럽에서는 유럽우주국(ESA)이 주축이 되어 ERS-1 위성을 1991년에 개발하였다. 이 위성에는 C-밴드 SAR 센서인 AMI(Active Microwave Instrument)가 탑재되었으며 수평편파 기술을 적용하였다. ERS-1의 후속 위성으로 거의 동일한 기능, 성능 및 궤도 특성을 갖는 ERS-2를 1995년에 발사하였으며, 지구환경 탐사목적의 대형 ENVISAT 위성에 ASAR를 탑재하여 2002년에 발사하여 현재 운용 중이다. ENVISAT 위성은 T/R 모듈 및 능동형 안테나를 채택하여 다중모드, 다중편파 영상 및 광대역 관측이 가능하다. 유럽국가 중에서 독일은 SAR-Lupe와 TerraSAR-X를 동시에 개발 중에 있다. SAR-Lupe는 독일 국방부에서 주도하여 1m 이하의 초고해상도의 목표물 식별 목적으로 5개의 소형 SAR 위성을 위성군 형태로 운용하기 때문에 짧은 재방문 주기 특성을 보유하고 있다. 현재 SAR-Lupe 시리즈의 첫 번째 위성이 2006년 12월에 발사되었으며, 두 번째 위성은 2007년 7월 2일에 발사하였다. 또한 2007년 6월 15일에 발사한 TerraSAR-X는 전자빔 조향 기능을 보유하여 넓은 관측영역과 빠른 전자빔 조향이 가능하고 다중편파, GMTI 기능 등을 시험모드로써 보유하고 있다. 또한 2008년 발사 예정으로 개발 중인 TanDEM-X는 TerraSAR-X의 후속 모델로 인터페로메트릭 SAR를 사용하여 DEM 정보를 제공할 예정이다. 이탈리아에서는 이탈리아 우주국과 국방부가 공동 투자하여 COSMO SkyMed 위성 4개를 개발 중에 있으며, 2007년 6월 7일에 첫 번째 시리즈를 발사하였다. 이스라엘은 SAR 위성인 TecSAR를 개발 중에 있다. 2006년 9월 발사 목표인 TecSAR는 1m 이하의 고해상도 영상을 제공하며, 우산처럼 펼쳐지는 반사경 안테

나를 가지고 있다.

러시아에서는 1991년에 Almaz-1을 발사하였으며, 이는 우주정거장 MIR와 비슷한 고도인 275km에서 태양 비동기 궤도로 운용되었다. 전자빔 조향 방식을 이용하여 입사각 범위를 가변할 수 있다. 현재는 S-밴드로 1-2m급 해상도를 갖는 KONDOR 위성을 개발하고 있으며 2개의 SAR 탑재 위성과 2개의 광학센서 탑재위성을 위성군으로 운용 계획 중인 SMOTR 사업을 추진 중이다. 2009년에서 2010년 사이에 발사에정인 SMOTR은 X-밴드와 C-밴드에서 멀티모드로 동작하며, 해상도는 1-15m 정도이다.

캐나다는 자국의 SAR 영상 수수와 해외 판매를 목적으로 최초의 상용 SAR 위성인 RADARSAT-1을 1995년에 발사하여 운용하고 있다. RADARSAT-1은 10m급 해상도, 500km까지의 넓은 관측폭, 17°~50°의 넓은 입사각 범위 등 우수한 성능을 보유하고 있다. 현재 2007년도 발사가 지연되고 있으나 3m급 영상해상도, 다중 편파, 광역관측 기능을 갖는 RADARSAT-2를 개발하고 있으며, RADARSAT-3 위성을 추가 개발하여 함께 운용할 계획이다.

일본은 1992년 단일 플랫폼에 SAR와 전자광학센서를 탑재한 JERS-1을 개발하였으며, 2006년 1월 ALOS 위성을 발사하여 운용 중이다. ALOS의 SAR 탑재체인 PALSAR는 L-밴드로써 다중 편파를 적용하였으며, 광역 감시 모드일 경우 350km의 관측폭을 가지며, 최대 해상도는 7m이다.

그 밖에 인도 우주국에서는 다중 모드 SAR 위성인 RISAT을 2007년 발사 목표로 개발 중이다. C-밴드 주파수로 다중 편파를 적용하였으며, 스폿라이트 모드일 경우 2m 이내의 해상도를 제공한다. 그리고 중국에서는 첫 번째 위성 SAR인 RRS-1을 2006년에 개발하였으며, 현재 2006년

부터 2010까지 중국 5년 계획에 따라 2번째 SAR 위성을 계획 중이다.

국내에서는 그 동안 다목적 실용위성 개발 시리즈의 일환으로 한국항공우주연구원이 주관하여 광학 탑재 위성을 중심으로 다목적 실용위성 1, 2, 3호를 개발하여 왔으나, 최근 국가적인 필요성에 따라 SAR를 탑재한 다목적실용위성 5호(KOMPSAT-5) 개발사업이 2009년 초 발사예정으로 추진되고 있다. 각 국에서 최근 개발되었거나 개발 중인 주요 위성들을 간략히 소개하면 다음과 같다.

1. RADARSAT

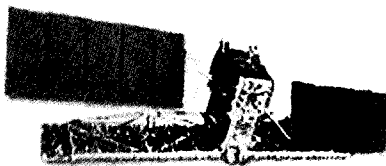
캐나다 우주국에서는 RADARSAT-1을 개발하였으며, MDA(Macdonald, Dettweiler and Associates Ltd)와 공동으로 RADARSAT-2를 개발중이다. RADARSAT-1은 지구의 환경 변화와 천연 자원의 발굴을 위한 대형 위성으로 1995년 11월 4일 발사되었다. 그림 3은 RADARSAT-1의 형상이며, 고도 798km에서 운용되는 태양 동기 극궤도 위성으로 경사각 98.6°, 100.7분의 주기를 가진다. 전체 중량은 2750kg, 최대 송신 전력은 5kw정도이며, 현재 5년의 설계 수명을

훨씬 뛰어넘은 12년째 운용중이다.

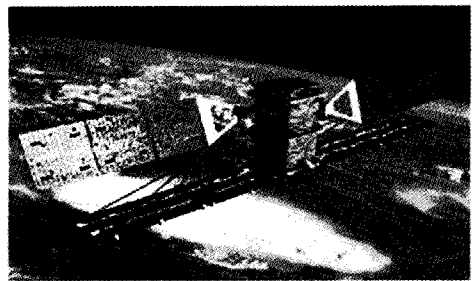
C-밴드인 5.3GHz의 주파수로 HH 단일편파를 사용하는 RADARSAT-1의 영상모드는 크게 5개의 모드로 구분된다. 표준(Standard)모드인 경우 관측폭 100km, 해상도 28m의 영상을 제공하며, 광대역(Wide Swath)모드는 해상도측면에서 표준모드와 유사하지만 150km의 넓은 관측폭을 가진다. 높은 해상도의 영상을 제공하는 고해상도(Fine Resolution)모드는 50km의 관측폭에 9m의 해상도를 가진다. 스캔(Scan) SAR 모드는 세부적으로 관측폭 300km, 해상도 50m의 영상을 제공하는 모드와 관측폭 500km, 해상도 100m의 영상을 가지는 모드로 운용된다. 넓은 입사각의 범위를 가진 광범위(Extended)모드는 75km의 관측폭을 가지며 해상도는 28m이다²⁾.

RADARSAT-2는 설계 수명이 7년이며, 중량이 2,200kg으로 RADARSAT-1보다 가볍다. C-밴드인 5.405 GHz를 사용하며, 그림 4와 같이 고해상도(Fine), 3중 고해상도(Triple fine), 초고해상도(Ultra-Fine), 표준(Standard), 광범위(Extended), 광대역(Wide Swath), 스캔(Scan) SAR 모드로 운용된다. 초고해상도 모드는 3m의 해상도를 제공한다²⁾.

RADARSAT-1은 HH 편파만을 사용하였지

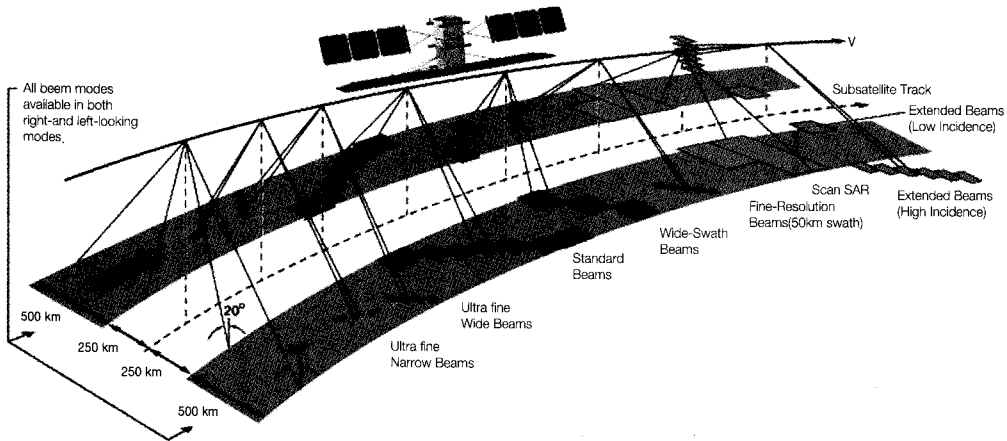


(a) RadarSat-1



(b) RadarSat-2

〈그림 3〉 RadarSat 위성 SAR 형상



〈그림 4〉 RadarSat-2 SAR 영상모드

만, RADARSAT-2는 VV 편파, 교차편파(HV 또는 VH), 이중편파(HH+HV 또는 VV+VH), 직교편파(HH+VV+HV+VH)의 사용이 가능하다. 또한 RADARSAT-1은 재방문주기가 긴 단점을 가지므로 RADARSAT-2에서는 왼쪽/오른쪽 관측(Left/Right-Looking) 모드를 적용하여 재방문 주기를 반으로 줄이도록 운용한다.

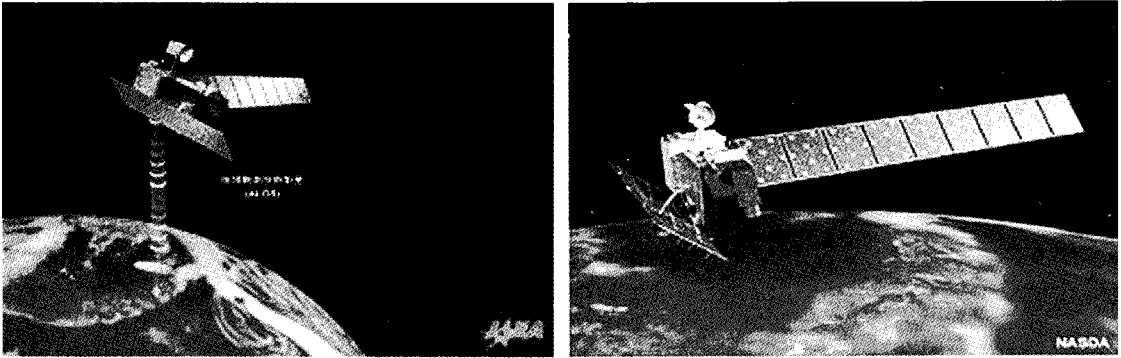
2. ALOS (Advanced Land Observing Satellite)

ALOS는 일본 우주국에서 개발한 SAR 위성으로 2006년 1월 24일 성공적으로 궤도에 올랐다. 일본의 JERS(Japanese Earth Resources Satellite)-1과 ADEOS (Advanced Earth Observation Satellite) 위성을 토대로 지상 관측 기술을 향상시킨 ALOS는 PALSAR(Phased Array L-Band Synthetic Aperture Radar)를 탑재하여 지도, 지역별 관찰, 자연 재해 감시, 천연 자원의 개발을 목적으로 운용되고 있다³⁾. ALOS는 적도면에서 고도 691.65km로 태양 동기 부귀환(sub-

recurrent) 궤도를 가지며 운용된다. 중량은 약 4000kg, 전력은 2kW이며, 위성의 형상은 그림 5와 같다. 일본의 2번째 위성용 SAR인 PALSAR는 L-밴드인 1.27GHz의 주파수에서 다중편파를 이용하여 다중모드의 SAR 영상을 지원한다. 고해상도(Fine Resolution)모드는 170km의 관측폭을 가지며 해상도는 약 10m이다. 스캔(Scan) SAR 모드는 250-350km의 관측폭으로 해상도는 떨어지지만 넓은 지역을 관측할 수 있다. 편파(Polarimetric) 모드는 30km의 관측폭을 가지는 빔을 사용한다.

3. SAR-Lupe

독일 국방부의 정찰위성 사업으로 Bremen의 OHB사에서 5개의 소형위성을 위성군으로 운영하는 SAR-Lupe를 개발 중이다. 사실상 독일의 첫 번째 고해상도 SAR 정찰 위성으로써 SAR-Lupe 시리즈의 첫 번째인 SRA-Lupe-1이 2006년 12월 19일 성공적으로 발사되었다. SAR-Lupe-2는 2007년 7월 2일에 발사되었으며 2008



〈그림 5〉 ALOS 위성

년까지 3개의 위성을 추가로 궤도에 올릴 계획이다. SAR-Lupe는 기상 상태와 자연 재해의 실시간 감시와 군사적인 용도로 개발되어, RF 통신이 암호화되어 X-밴드에서 다운링크가 수행되며, 업링크는 S-밴드에서 자료 전송이 이루어진다³⁾. 위성체의 중량은 대략 770kg이고, 5개의 위성은 3개의 궤도면에서 550km의 평균 고도를 가지고 운영된다. SAR-Lupe의 탑재체인 X-밴드 SAR는 9.65GHz의 중심주파수를 사용하며, 안테나는 파라볼라 안테나로 크기는 가로 3.3m, 세로 2.7m이다. SAR 영상 모드는 1m의 해상도를 가진 스트립맵 모드와 0.5m의 해상도를 가진 스포트라이트 모드로 동작한다.

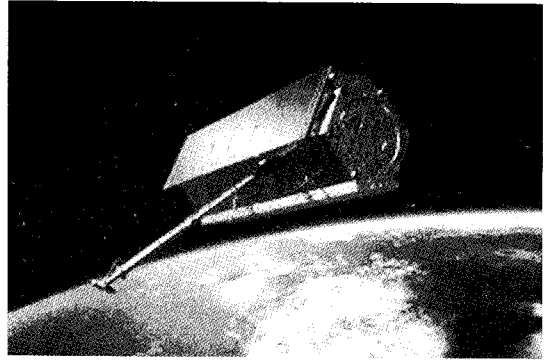
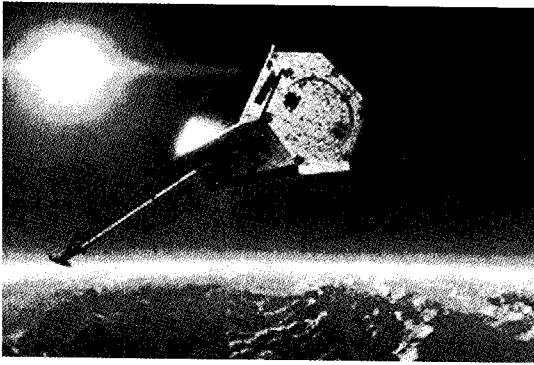
4. TerraSAR-X

독일에서는 독일 우주국과 유럽 항공우주 방위 산업체가 공동으로 TerraSAR-X를 2007년 6월 15일 발사하였다. TerraSAR-X는 그림 6과 같이 X-밴드에서 다양한 모드별 해상도와 편파를 가지며, 위상배열 안테나를 이용하여 인터페로메트리와 GMTI 기능을 가지고 있다. 태양 동기 방식의 TerraSAR-X는 11일을 주기로 적동에서 높

이 514km, 97.44°의 경사를 가지고 수명 5년 정도 운용될 예정이다. X-SAR/SIR(Shuttle Imaging Radar)-C와 SRTM(Shuttle Radar Topography Mission)을 토대로 개발되었으며 스트립맵(stripmap), 스캔(scan) SAR, 스포트라이트(spotlight)의 3가지 운용 모드를 가진다. TerraSAR-X의 운용모드는 스트립맵 모드는 30km의 관측폭을 가지며 편파의 종류에 따라 최대 3m 해상도의 영상을 제공한다⁴⁾. 스캔 SAR 모드는 광범위 탐색을 위한 모드로 100km의 넓은 관측폭을 가지며 해상도는 16m이다. 스포트라이트 모드는 최대 1m의 고해상도 모드로써 10km의 관측폭을 가진다. 당초 TerraSAR-X는 러시아-우크라이나의 DNEPR-1 발사체를 통해 4월 발사 예정이었으나 현재 6월 중순에 발사되어 초기 레이더 영상을 얻었으며, 현재켈리브레이션을 수행하고있다.

5. COSMO Skymed

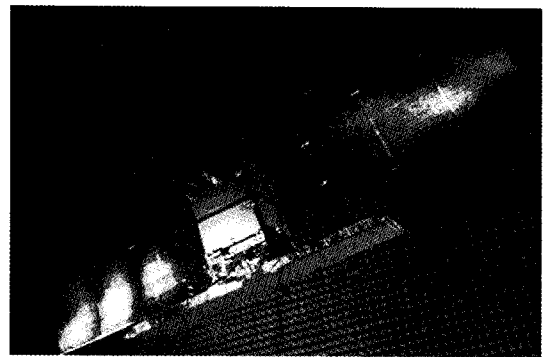
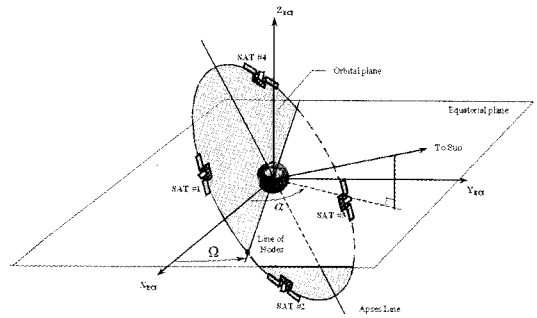
이탈리아에서는 민군 겸용으로 이탈리아 우주국과 국방부가 공동 투자하여 COSMO Skymed를 개발 중이다. 서로 다른 궤도를 가지는 4개의



〈그림 6〉 TerraSAR-X 위성

위성이 SAR 센서를 탑재하여 동시에 전 세계를 관측하며, 국가적으로 국방과 보안, 감시뿐만 아니라 연구와 상업적인 목적으로 민간인에게 정보를 제공할 계획이다. 5년 수명의 COSMO Skymed의 첫 번째 위성은 Delta II 7420-10C의 발사체를 통해 2007년 6월 15일 발사되었다. COSMO Skymed의 형상은 그림 7과 같다. COSMO Skymed 위성은 최신 능동 위상배열 안테나를 사용한 X-밴드 SAR 센서를 탑재하고 있으며 질량은 1700kg의 위성으로 최고 송신 전력은 5kW이다. COSMO Skymed는 HH, VV, HV 또는 VH 편파를 이용하여 단일 편파와 이중 편파 모드를 제공한다⁵⁾. 단일 편파 모드는 프레임(Frame 또는 Spotlight)모드, 하이메이지(HIMAGE 또는 Strip Map)모드, 광대역(Wide Region 또는 ScanSAR)모드, 초광대역(Huge Region 또는 ScanSAR)모드로 운용할 수 있으며, 이중 편파를 사용하는 경우는 핑퐁(Ping Pong 또는 Strip Map)모드가 있다. 프레임 모드는 10m의 관측폭을 가지고 1m의 고해상도를 지원하는 모드이다. 하이메이지 모드는 좀더 넓은 40km의 관측폭에 해상도는 3-15m이다. 광대역 모드일 경우 100km 관측폭에 30m의 해상도를 가지며,

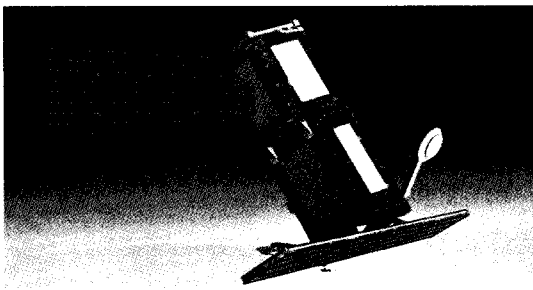
초광대역 모드는 200km 관측폭에 100m의 해상도를 가진다. 위의 경우는 모두 단일 편파를 사용하며, 이중 편파를 사용하는 핑퐁 모드는 관측폭이 30km, 해상도가 15m이다.



〈그림 7〉 COSMO Skymed 위성

6. KOMPSAT-5(Korea Multi-Purpose Satellite-5)

KOMPSAT-5는 국가 우주개발 중장기 계획에 의한 다목적 실용위성 시리즈 5호로 SAR를 탑재한 최초의 레이다 위성이다. KARI(Korea Aerospace Research Institute)가 주관하여 다양한 수요처를 중심으로 개발 중인 한국형 다목적 실용 5호 위성은 지리정보, 해양 및 지상관리, 재난 관측, 환경관측 등의 국가 수요에 필요한 레이다 영상정보를 신속히 제공하기 위한 목적으로 개발 중이다. 한반도의 전천후 지상 및 해양 관측을 위한 저궤도 소형 실용 SAR 위성으로써, 고해상도 SAR 탑재체는 Skymed 위성을 개발하고 있는 이태리 Alcatel Alenia Spazio와 해외기술협력으로 수행하고 있으며, 위성체는 EADS 와 기술협력으로 개발하여 2009년 초에 발사예정이다. KOMPSAT-5 형상은 그림 8과 같으며 고도 550Km, 질량 880 Kg의 저궤도 위성으로 태양동기 궤도의 반복주기를 28일로 순환한다. SAR 탑재체는 X 밴드의 다중 편파의 위상배열 안테나를 이용하여 다중 영상모드 기능을 가지고 있다. 수요자의 요구에 따라 고해상도, 표준영상 모드 및 광역영상 모드로 운용하며 모드에 따라 관측 폭과 해상도를 가변할 수 있다.



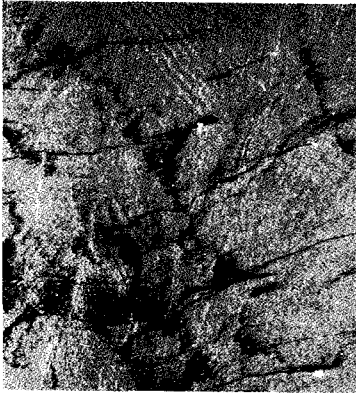
〈그림 8〉 KOMPSAT-5 위성

IV. SAR 영상 활용

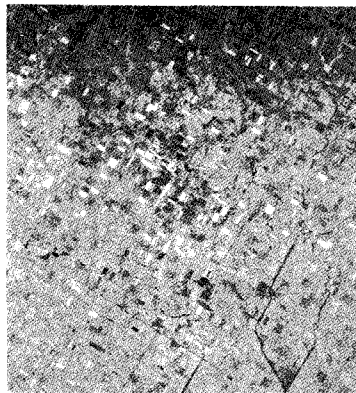
SAR는 구름이나 비와 같은 기상 조건이나 일조현상에 관계없이 전천후로 고해상도 영상을 제공하므로 다양한 탑재 시스템과 응용 분야에 걸쳐 활용되고 있다. 활용분야는 크게 과학, 민수 및 군사 응용분야로 나누어 지며, 과학 분야에서는 지표면 탐사, 지도 제작, 생태계 연구, 산림황폐화 연구, 해양 연구 등으로 활용되며, 민수용으로는 지진, 화산, 산불, 홍수 등 자연 재해 감시와, 기름 유출, 공해 감시, 자원관리, 농업, 산림분포 등에 많이 활용된다. 특히, 군사 응용분야는 국경감시, 군시설 탐지, 군사 표적물 이동, 군함 탐지, 표적식별, 작전 입체지도 작성, 공격성과 분석 등에 활용된다. SAR 영상은 사용 목적에 따라 환경감시, 입체영상 지도제작, 숲 및 지표면 투과탐지, 변화 탐지, 적 탐지 식별, 적 동태 및 침투감시, 항법 및 유도 등의 응용분야에 주로 활용된다.

환경감시 분야에서 SAR 영상은 산림 벌목, 훼손 및 산불 피해조사, 해양 기름유출 탐지, 자연 재해 감시, 해류 흐름 관측, 빙하지역의 눈, 얼음 분포와 특성 분석, 농작물의 종류, 발육 상태, 토양 수분 및 재배면적 탐지 등에 사용되고 있다. 그림 9, 10, 11는 각각 인도 봄베이 근방 아라비아 해역의 기름유출과, 캐나다 매니토바 경작지역의 농작물 작황현황, 남극 웨들해의 빙하 분석에 SAR 영상이 활용되는 예를 보여준다.

고해상도 위성영상을 이용한 수치지도 제작 및 갱신은 종래의 지상측량 및 항공사진측량에 비해 광역지역을 빠른 시간에 효과적으로 처리할 수 있으며 그래픽 시뮬레이션을 수행을 통해 임의 방향의 3차원 조감도를 제작할 수 있다. 이를 바탕으로 도심지 각종 인공 구조물 지도화, 인터



〈그림 9〉 기름 유출



〈그림 10〉 농작물 작황



〈그림 11〉 빙하 관찰

페로메트리를 이용한 3차원 입체영상, 지도 제작 등에 사용되고 있다. 또한 숲 또는 지표면에 대한 투과 탐사를 통해 지하 고대유적 및 지하수 매장 탐지, 위장 또는 은폐되어 있는 표적 탐지, 지하 매설 전선 등에서도 영상의 활용이 가능하다. 이밖에도 트럭, 탱크, 미사일 등 표적 이동 탐지와 고정표적 변화 및 군부대 이동변화를 탐지 등에 활용되는 변화 탐지 분야와 특수 표적물 탐지, 분류, 식별, 작전지역의 공격 성과도 판별, 자연 지형과 군사적인 인공구조물 식별 등에 활용되는 표적 탐지, 식별 분야, 그리고 국제규범에 위반하는 밀수선박 감시, 국경 및 해안선 항구 감시, 적의 핵무기 및 생화학 무기 동태감시 등에 활용될 수 있다.

V. SAR 기술 발전 추세

최근 개발되고 있는 위성 SAR에 적용하고 있는 기술 추세는 능동 위상배열 안테나를 이용한 다중 영상 모드와 정밀 표적 영상 식별 및 이동 표적 탐지 등의 새로운 기술을 적용하는 추세이다. 주요 기술은 크게 정밀 표적 식별을 위한 초고

해상도 기술과 이동표적 탐지 기술, 다양한 주파수와 편파를 이용한 폴라리메트릭 표적분류 기술, 입체영상 제작과 정밀 고도정보를 위한 인터페로메트리 기술, 짧은 재방문 주기를 위한 다수 위성의 성단 운영 기술, Bi-Static or Multi-Static SAR 기술 등으로 발전하고 있다. 시스템 개발 측면에서는 저가의 소형 위성을 단기간에 많이 개발하는 저궤도 위성 방향으로 추진하고 있다.

다중 모드 기법은 원하는 지역 및 표적의 영상을 빔 조향 안테나를 이용하여 표준영상 모드, 광역감시 모드 및 고해상도 모드 등의 다양한 모드별 영상을 획득할 수 있는 기술이다. 전자광학 센서의 경우 고해상도의 영상을 획득할 수 있지만 광역감시 및 고해상도 모드를 동시에 운용하기 어렵다. 하지만 SAR 센서는 전자적으로 빔을 조향하고 송수신 과정을 적절하게 변형시켜줌으로서 응용 목적에 적합하도록 해상도와 관측폭을 조정할 수 있기 때문에 활용분야의 다양성을 제공할 수 있게 되어 영상 수요 및 활용이 더욱 증가될 것이다.

다중 편파 기법은 전자파의 편파에 따른 산란 특성을 이용하여 입사파의 편파와 산란되어 수신되는 편파의 순서에 따라 HH, HV, VH, VV

의 네가지 편파 모드로 표현된다. 기존의 위성 SAR들은 HH 또는 VV 중에서 한가지 편파로 고정되었으나 ENVISAT을 비롯한 최신 위성에서는 네가지 편파 모드 중에서 두개를 선택할 수 있는 이중편파(Dual Polarization) 또는 모든 편파를 얻을 수 있는 Quadrature-Polarization 기술을 적용하는 추세이다.

인터페로메트릭 SAR 기술은 두장 이상의 복소수 SAR 자료에서 위상차 정보를 이용하는 기술로서 고해상도의 고도 정보를 추출할 수 있다. 두장의 SAR 자료는 두개의 안테나를 동시에 비행체에 탑재하여 한 안테나는 송수신을, 다른 하나는 수신만을 담당하는 형태로 운영한다. 또는 하나의 시스템을 시간적인 차이를 두고 비슷한 비행 궤도를 재현하여 두장의 SAR 자료를 얻는 방법이다. 이와 같이 시간적 혹은 공간적으로 떨어져 있는 두 안테나는 레이다 펄스의 입사방향에 수직으로 정렬되어야 지형 고도에 대한 해상도를 얻을 수 있으므로, 탑재체의 진행방향에 수직이란 의미에서 XTI(Across-Track Interferometry)라 한다. 특히, 지표의 변위를 센티미터 혹은 밀리미터의 단위로 관찰할 수 있는 차등 인터페로메트릭 SAR 기술은 픽셀 내 산란체들의 상대적 위치가 고정되어 있어 높은 코히어런트가 유지되는 곳에서 위상차를 통해 전체 산란체가 변위를 일으키는 경우를 탐지한다. 이때 위상차는 고도 정보를 추출하기 위한 인터페로메트릭 SAR와 유사한 방법으로 얻을 수 있다. 차등 인터페로메트릭 SAR 기술을 통하여 지진에 의한 지표의 변위를 관찰하거나 빙하의 흐름, 마그마의 이동 등을 포착할 수 있다. 비행방향에 따라 ATI(Along-Track Interferometry)를 이용한 이동 표적의 속도 측정 기술은 최근에 개발되어 시험적으로 적용되는 기술이다. 두 안테나를 비행

체가 진행되는 방향과 일치되도록 배열한 뒤, 하나는 송수신을 다른 하나는 수신을 담당한다. 어느 한 지역을 비행체의 속도에 따라 시간차를 달리하여 SAR 자료를 얻고, 위상차를 이용하여 물체의 속도를 구할 수 있다. 만약 정적인 표적이라면 두 영상의 위상차는 0이 될 것이지만, 표적이 이동한다면 도플러 효과에 의한 위상차가 발생한다. ATI는 주로 해류의 속도 벡터를 구하거나 지상의 이동 표적을 탐지 하는 GMTI(Ground Moving Target Indicator)와 밀접한 관계가 있다.

이동표적 탐지를 위한 GMTI 기술은 위성 SAR의 플랫폼 이동으로 인해 고정 클러터가 도플러 변위를 가지며 동시에 스펙트럼 퍼짐 현상이 발생한다. 그러므로 저속의 이동 표적을 탐지 할 경우 클러터와 표적 신호가 오버랩되어 표적의 탐지가 어려워진다. 또한 SAR는 정적인 지형을 표적으로 하기 때문에 비행방향에 수직으로 접근하는 물체는 추가적인 도플러 이동을 가지게 되며 이는 방위방향으로의 위치 오차를 발생시킨다. 이러한 문제를 해결하는 방법으로 위에서 언급한 ATI 기법이 있으며, 또 다른 방법인 DPCA(Displaced Phase Center Antenna)가 있다. 최근에는 다중채널 안테나를 통해 시간과 공간적인 2차원의 필터를 수행함으로써 이동 표적의 탐지 확률을 향상시키고 정확한 표적의 위치 획득을 가능하게 하는 STAP(Space-Time Adaptive Processing) SAR 기법의 연구가 활발히 진행 중이다. 마지막으로 재방문 주기의 최소화이다. 현재 위성개발 국가간의 상호협력을 통해 정보 공유를 계획하고 있으며, 이탈리아의 COSMO Skymed, 독일의 SAR-Lupe와 같이 다수의 위성을 위성군으로 운용하여 국가 안보 및 재난상황과 같은 긴급 관측이 요구되는 분야의 활용도가 높아질 것으로 기대된다.

IV. 결론

SAR 기술 역사 50년을 기점으로 최근 영상 레이다(SAR) 기술의 급속한 발전에 힘입어 전천후로 초고해상도의 표적탐지 및 식별이 가능해짐에 따라 군사용으로는 물론 과학 민수용으로 활용범위가 넓어지고 있다. 지금까지의 세계적인 위성 SAR 개발 추세는 대부분 대형 단일 위성으로서 다중 임무를 수행하는 목적으로 여러 가지 센서를 동시에 탑재하여 고가격, 고 중량, 장기간의 개발기간 등이 요구되었다. 최근 SAR 위성은 임무를 단일화하여 소형 경량의 고해상도 위성을 단기간에 낮은 개발 비용으로 개발하는 추세이다. 특히 2000년대 들어서 유럽 여러 국가에서는 군용 및 민수용으로 유사한 성능의 저궤도의 고해상도 원격탐사 위성을 경쟁적으로 개발하고 있다. 현재 2007년을 정점으로 몇 년 내에 유사 이래 최고 많은 위성들을 발사할 계획을 가지고 있으므로 비로소 “저궤도 위성 SAR 전성시대”로 진입할 것으로 보인다. 국내에서도 다목적 실용 위성 시리즈로 SAR 레이다를 탑재한 최초의 레이다 관측 위성 KOMPSAT-5의 개발사업이 추진되고 있다. 최근 기술 추세는 능동 위상배열 안테나를 이용한 다중 영상 모드와 정밀 표적 영상 식별 및 이동 표적 탐지 등의 새로운 기술을 적용하는 추세이다. 복합적인 센서와의 상호 보완적 운용을 통하여 SAR 영상 뿐만 아니라 전자광학과 적외선 영상 정보와의 데이터 융합 기술이 중요해지고 있다. 아직 상대적으로 선진국에 비하여 국내 기술기반이 취약하므로 정부주도로 산학연이 공동으로 항공기, 무인기, 위성 SAR의 공통 기반 기술 개발을 위한 국가 레이다 센서 기술 개발 프로젝트가 지속적으로 개발되기를 기대한다.

참고문헌

- [1] Ian G. Cumming, Frank H. Wong, Digital Processing of Synthetic Aperture Radar, Artech House, 2005.
- [2] L. Brule, H. Baeggli, “RADARSAT-2 mission update,” Geoscience and Remote Sensing Symposium. IGARSS '01, Vol. 6, pp. 2581-2283, July 2001.
- [3] T. Igarashi, “Alos mission requirement and sensor specifications,” Advances in Space Research, The official journal of the Committee on Space Research (COSPAR), Vol. 28, No. 1, pp. 127-131, 2001.
- [4] S. Buckreuss, W. Balzer, P. Muhlbauer, R. Werninghaus, W. Pitz, “The TerraSAR-X Satellite Project,” Proceeding of Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS' 03, Vol. 4, pp. 3096-3098, July 2003.
- [5] F. Dell Acqua, P. Gamba, R. Battaglia, “Applications and Design of a Multi-Polarization 2nd Generation SAR for the COSMO/SKYMED Constellation,” Applications of polarimetry and polarimetric interferometry, POLINSAR 2005, pp. P41-, 2005.

저자소개



곽 영 길

- 1976년 2월 한국항공대학교 항공통신공학과
학사(B.S)
- 1981년 2월 한국과학기술원 전기전자공학과
석사(M.S)
- 1987년 6월 오하이오대학교 전기전자공학과
박사(Ph.D)
- 1976년 3월-2001년 3월 국방과학연구소 책임연
구원, 레이다 연구실장
- 1984년 1월-1987년 5월 오하이오대학교 항공전
자연구소 Research
Associate
- 1992년 3월-1993년 2월 한국과학기술원 전자공
학과 겸임교수
- 1997년 3월-1999년 2월 영국 Matra Marconi
Space, 위성 영상 레
이다(SAR) 프로젝트
책임자
- 2001년 7월-2007년 8월 한국항공대학교 부설
항공전자연구소 소장
- 2001년 3월-현재 한국항공대학교 항공전자 및
정보통신공학부 교수
- 2007년 9월-현재 영국 옥스퍼드 대학교, Dept
of Engineering Science,
Visiting Professor 방문연구
교수
- 2002년 4월-현재 한국전자파학회 레이다연구회
위원장 및 IEEE/IEE Radar
Society 위원

관심 분야 : Radar and SAR System, Radar Signal
Processing, SAR Imaging, Adaptive
Array Processing

주관심 분야 : 레이다 신호처리, 레이다 Imaging