

SAR 최근 기술 동향

위성 영상 레이다(Synthetic Aperture Radar)

기술 현황과 발전 추세

곽 영 길

한국항공대학교

요 약

최근 고해상도의 영상 레이다(Synthetic Aperture Radar: SAR) 기술의 급속한 발전으로 기상 변화에 관계없이 전천후로 지구의 환경 변화를 관측하거나 고정밀도의 표적 탐지 및 식별이 가능해짐에 따라 레이다 영상을 이용한 활용 분야가 군사 목적의 정밀 감시 정찰뿐만 아니라 과학 및 민수용으로도 활용범위가 넓어지고 있다. SAR의 역사는 1950년대부터 약 50년의 기술 역사를 가지고 있지만 2010년을 기점으로 최근 3~4년 사이에 전 세계적으로 유사 이래 가장 많은 10여개 이상의 저궤도 SAR 위성들을 발사 하므로써 비로소 “저궤도 위성 SAR 전성시대”로 진입하게 되었다. 우리나라에서도 최근 다목적 실용 위성 5호에 SAR를 탑재하는 최초의 영상 레이다 위성을 2011년 중반에 궤도에 집입시키기 위하여 현재 발사를 준비하고 있다. 본 논문에서는 2011년 9월 26~30일 한국에서 처음으로 개최되는 국제영상 레이다 학술회의(Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar: APSAR 2011)에 즈음하여 위성 SAR 개발 동향을 중심으로 SAR 기술 특징과 활용 기술 및 최근 기술 발전 동향을 소개한다.

I. 개 요

최근 지구 온난화와 세계적인 기상 이변으로 인하여 지구가 몸살을 앓고 있다. 지구 환경의 변화에

대한 관심이 높아지면서 기후 변화에 무관하게 원하는 관심 지역을 전천후로 관측할 수 있는 영상 레이다의 중요성이 매우 높아지고 있다. 특히 SAR는 인공위성이나 항공기 및 무인기 등의 다양한 플랫폼에 탑재하여 원하는 관심 지역을 전천후로 상시 관측 및 정찰을 할 수 있는 특징이 있기 때문에 정밀 전자 눈(Electronic Eye)으로서의 활용 분야가 확대되고 있다. 영상 레이다 SAR는 전자파를 이용하는 능동 센서로 비, 구름, 안개 등 기상 조건이나 주야간, 역광 등 일조현상에 관계없이 전천후로 광범위한 지역의 영상 획득이 가능하다. 또한 일반 레이다(Real Aperture Radar: RAR)의 방위 방향 해상도는 주어진 안테나 크기에 제약을 받지만 영상 레이다는 합성 빔 원리를 이용하여 파장이나 탐지거리에 무관하게 고해상도로 영상을 얻을 수 있는 특징이 있다. 따라서 SAR 영상은 최근 지구 온난화와 기상 이변으로 인한 북극의 빙하, 홍수, 가뭄 및 산불 지역 관측은 물론 화산 폭발, 지진 피해, 기름유출 등과 같은 자연 재해 및 환경 감시 분야에 필수적인 관측 수단이 되고 있다. 특히 최근 초고해상도의 표적 영상 형성과 표적 식별 기술이 발전함에 따라 군사 목적으로 국경 감시나 군사 시설 및 테러 위협에 대한 필수적인 감시 정찰 수단으로 활용도가 높아지고 있다.

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 반도 국가로서 기상 변화가 많고 강우 및 구름 낄 확률이 연평균 50% 이상이므로 고해상도 영상 정보 획득 효율면에서 SAR 레이더 위성의 역할은 광학 카메라 위성에 비해 더욱 중요해질 전망이다. 특히 남북한이 대치하고 있는 한반도에서 최근 북핵 및 장거리 미사일 발사에 이어서 2010년에 발생한 천안함 사태와 연평도 도발 징후 감시 및 피해 확인 등을 원격으로 정밀 관측하는데 필수적인 영상정보 수단으로 활용될 수 있다.

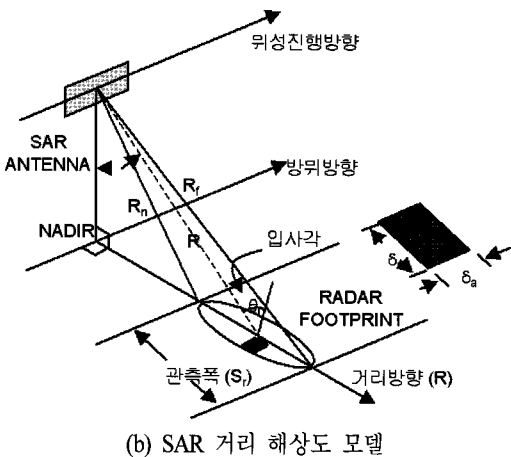
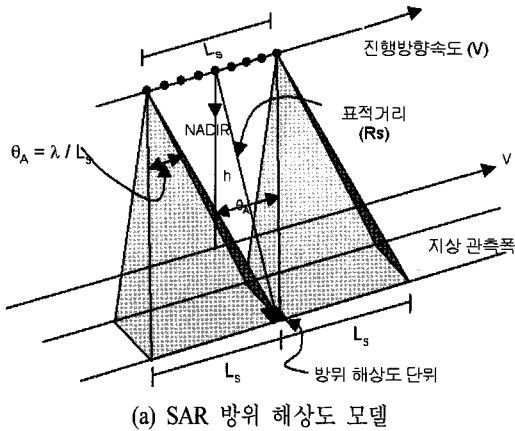
SAR 기술은 1951년 Carl Wiley가 DBS(Doppler Beam Sharpening)라는 초기 SAR 개념의 방위 해상도 향상 원리를 발명한 이래 50여년 동안 많은 기술 발전을 가져왔다. 1978년 미국 최초의 SAR 위성인 SEASAT을 시작으로, NASA의 우주왕복선 SIR-A/B/C/X와 2000년 SRTM(Shuttle Radar Tomography Mission)에 이르기까지 많은 위성 SAR 영상을 획득하였다. 군사적으로 미국은 고해상도의 Lacross SAR 위성의 지속적인 개발과 운용으로 세계 경찰 국가의 역할을 주도하여 왔으나, 향후 재방문 주기가 매우 짧고 초고해상도의 SAR 위성을 성단으로 운영하는 저궤도 정찰 위성을 개발하고 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 운용 수명이 다하여 새로운 후속 위성을 개발하고 있다. 특히 2000년대 들어서 유럽 여러 국가에서는 독일의 TerraSARX, SAR-Lupe, 이스라엘의 TecSAR, 이탈리아의 Cosmo Skymed 등 소형 경량의 군용 및 민수용의 저궤도, 고해상도 원격 탐사 위성을 경쟁적으로 개발하고 있다. 현재 2010년을 정점으로 이들 대부분의 위성들을 현재 발사 완료되어 유사 이래 가장 많은 저궤도 SAR 위성들의 경쟁으로 인하여 비로소 “저궤도 위성 SAR 전성 시대”로 진입하게

되었다. 우리나라에서도 다목적 실용위성에 SAR를 탑재하는 영상 레이더 기술 개발을 1996년대 중반부터 착수하였으나, IMF의 위기를 맞아 수년 동안 지연되다가 2000년대 중반에 비로소 개발이 본격적으로 진행되어, 국내에서는 최초로 인공위성에 레이더를 탑재하는 위성 탑재 영상 레이더를 2011년 중반에 발사할 예정이다. 본 논문에서는 영상 레이더의 기본 원리를 소개하고, 최근 위성 SAR 개발 동향을 중심으로 대표적인 저궤도 위성 SAR인 RADARSAT-2, ALOS, PALSAR, SAR-Lupe, TerraSAR-X, COSMO Skymed 및 KOMPTSAT-5 위성에 대한 기술 특징을 소개하고, Interferometry, GMTI 및 Polarimetric SAR 활용 기술과 향후 기술 발전 추세에 관하여 기술한다. 마지막으로 APSAR 2011 국제영상 레이더 학술대회에 대하여 소개한다.

## II. 영상 레이더(SAR) 기술

영상 레이더의 해상도는 거리 방향 해상도와 방위 방향 해상도로 구분되며, 광학영상의 2차원적인 영상과 동일한 화소 의미를 가진다. 공간상의 SAR 영상 해상도는 안테나의 빔 폭이 좁을수록 비례적으로 좋아지므로 실제 개구면을 사용하는 일반 레이더 RAR (Real Aperture Radar)의 경우 해상도를 증가시키기 위해서는 실제 안테나의 개구면을 매우 크게 만들어 주어야 한다. 그러나 물리적으로 안테나를 수 km 길이로 만들 수 없으므로 영상 레이더(Synthetic Aperture Radar)에서는 위성이나 항공기 등의 비행체를 이용하여 일정 비행 이동거리 동안 빔을 합성하여 안테나의 길이를 매우 길게 만들어 주는 효과를 이용함으로써 방위 각도 해상도를 증가시킨다. 방위 해상도는 [그림 1] (a)와 같은 모델을 이용하여 일반적인 레이더의 방위 해상도는  $\delta_a = R_s \frac{\lambda}{L_a}$ 로 주어진다. 여기서  $R_s$ 는 경사 탐지 거리,  $\lambda$ 는 송신 주파수 파장,  $L_a$ 는 안테나의 물리적인 길이이다. 따라서 일반 RAR의

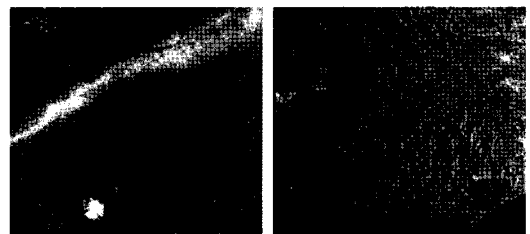
방위 해상도는 안테나의 길이에 비례하여 좋아지며, 탐지 거리에 비례하여 나빠진다. 그러나, SAR의 경우 합성 안테나 길이는 표적과의 거리에 비례하여 길어지므로 거리에 관계없이 일정한 방위 해상도를 유지할 수 있으며, SAR의 최대 방위 해상도는  $\delta_{\theta_{max}} = L_a/2$ 로 주어진다. 또한 거리 방향 해상도는 송신 펄스의 대역폭에 비례하여 해상도가 증가한다. [그림 1] (b)의 기하 구조에서 보는 바와 같이 지상 거리 방향 해상도는 입사 각도에 따라 다음과 같이  $\delta_r = \frac{c}{2B\sin\theta_i}$ 로 주어진다. 여기서  $c$ 는 빛의 속도,



[그림 1] SAR 해상도 기하 구조

$B$ 는 펄스 대역폭,  $\theta_i$ 는 입사각이다. 레이다에서 거리방향 해상도는 송수신 파형의 펄스 폭에 따라 결정되며, 레이다 신호의 대역폭을 넓게 생성함으로써 거리 해상도를 향상시킬 수 있다. 그러나 좁은 펄스 폭으로 인한 송신 에너지의 제약으로 인하여 탐지 거리에 제한을 가져오므로 송신시 펄스 폭을 넓게 하고 수신시 펄스 압축 기법을 통하여 고해상도의 성능을 얻을 수 있는 선형 주파수 변조(Linear Frequency Modulation: LFM) 코드를 이용한다. SAR 영상 형성은 레이다가 탐재된 비행체가 이동하면서 지속적으로 관심 지역에 Chirp 신호를 송수신하여 한 지점에 대한 거리와 방위의 2차원 SAR원시 데이터를 획득한다. SAR가 Chirp 신호를 송수신하는 동안 플랫폼의 이동으로 인해 표적에 대한 위치 변화가 발생하며, 이는 LFM 신호와 유사한 형태의 도플러 변위로 나타난다. 그러므로 SAR에서는 LFM 신호를 이용한 펄스 압축 기법을 통하여 거리 방향의 해상도를 얻고, 플랫폼의 이동에 의한 도플러 주파수의 상대적인 변위값을 처리하여 방위 방향의 고해상도 영상을 얻는다<sup>[2]~[4]</sup>. [그림 2]는 구름이 있을 경우, 전자광학 영상과 SAR 영상의 차이를 비교하고 있다.

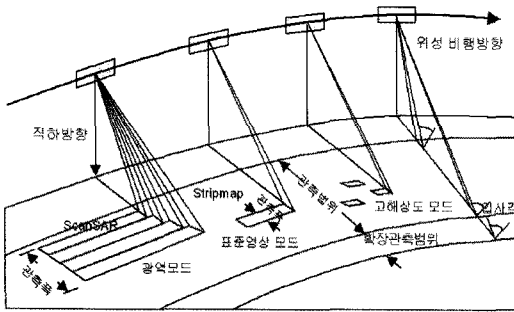
위성 SAR 시스템은 크게 위성체, 발사체, 지상체로 나눌 수 있다. 위성체는 위성 본체와 탑재체, SAR 안테나, 태양전지판 등으로 구성된다<sup>[5]~[7]</sup>. 발사체는 위성을 우주 궤도에 진입시키는 로켓으로 추진체와 탑재체로 구성되어 있다. 위성 SAR 시스템은 위성



(a) 광학 영상

(b) 레이다 영상

[그림 2] SAR 영상 비교



[그림 3] SAR 영상 획득 모드

이 궤도를 따라 운행하면서 임부 관제소의 명령을 받아 영상을 획득하고, SAR 수신 처리소로 자료를 전송한다. 이는 사용자의 운용 개념에 따라 긴급, 우선, 평시 임무로 나뉘어 긴급도에 따라 영상을 직접 사용자에게 영상을 제공하거나 지상 수신 처리 장치에서 저장한다. 영상 획득 모드는 [그림 3]과 같이 중해상도의 표준영상을 위한 Strip 모드, 저해상도의 광역 관측을 위한 Scan 모드, 그리고 좁은 지역이지만 고해상도의 영상을 획득하는 Spotlight 모드 등으로 구분한다.

SAR 탑재체는 탑재 레이다 부분과 데이터 링크부로 나눌 수 있으며, SAR 레이다 부분은 안테나부, 초고주파 송수신부, 중앙 전자부로 구성된다. 안테나부는 위상 배열 방사기, 급전기로 세분화할 수 있으며, 초고주파 송수신부는 송신기, 수신기, 그리고 주파수 발생기와 합성기로 이루어진다. 중앙전자부에서는 탑재체를 제어하고 송신 신호를 생성하며, 데이터 송신에 필요한 데이터의 압축을 수행한다. 데이터 링크부에서는 데이터를 저장하고, 지상국으로 데이터를 송신하기 위한 변조와 증폭의 과정이 수행되며, 최종적으로 데이터 링크 안테나를 통해 데이터를 송신한다. 지상체는 수신 처리소와 임부 관제소로 구성되며, 수신 처리소는 지상 수신 안테나부, 데이터 수집 및 전처리부, SAR 영상 형성부 및 영상 응용부로 구성된다. 영상 형성부에서 SAR 원

시 데이터의 진폭과 위상정보를 이용하여 신호를 압축함으로써 레벨 1의 기본 영상을 형성하게 된다. 이 기본 영상은 전과경로상의 보정이나 지구 기하적인 보정을 거친 다음, 스테레오 영상, 3차원 간섭 영상, 모자이크 영상 등 활용 목적에 따라 다양한 정보를 추출할 수 있게 된다. SAR 반사 신호의 진폭 크기 정보를 이용하면 표적 인식, 변화 감지, 스테레오 지도 등을 만들 수 있고, 인터페로메트리를 이용한 위상정보를 이용하면 DEM(Digital Elevation Map) 정밀 고도 정보 추출은 물론 더욱 정밀한 변화 탐지, 분류 등에 이용할 수 있다.

### Ⅲ. 위성 영상 레이다 현황

레이다가 최초로 독일에서 1904년에 Christian Hulsmeyer에 의해 개발된지 한 세기 역사를 넘고 있다<sup>8)</sup>. 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 기술 발전을 가져왔다. 미국은 1978년에 세계 최초로 고도 800 km, 해상도 25 m, 관측폭 100 km의 특성을 갖는 SEASAT을 개발하였다. 이후 1981년과 1984년에 개발된 SIR-A/B를 우주왕복선에 탑재하여 기술을 검증하였으며, C-밴드의 SAR(미국 개발)와 X-밴드의 SAR(유럽 개발)를 동시에 탑재한 SIR-C/XSAR를 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 주요 지역의 디지털 고도 지도(DEM)를 구축하였다. 또한 군사 위성으로 1988년 정찰용 LACROSSE-1을 시작으로 1991년에 LACROSSE-2, 1997년에 LACROSSE-3, 2000년에 LACROSSE-4, 2005년에 LACROSSE-5, 2009년에

LACROSSE-6를 개발 중에 있다. 최근 각국의 대표적인 저궤도 위성 SAR의 현황을 <표 1>에 비교하였다.

<표 1>에서 보는 바와 같이 1991년에 유럽에서는 유럽우주국(ESA)이 주축이 되어 ERS-1 위성을 처음으로 개발하였다. 이 위성에는 C-밴드 SAR 센서인 AMI (Active Microwave Instrument)가 탑재되었으며, 수평 편파 기술을 적용하였다. ERS-1의 후속 위성으로 거의 동일한 기능, 성능 및 궤도 특성을 갖는 ERS-2를 1995년에 발사하였으며, 지구 환경 탐사 목적의 대형 ENVISAT 위성에 ASAR를 탑재하여 2002년에 발사하여 현재 운용 중이다. ENVISAT 위성은 T/R 모듈 및 능동형 안테나를 채택하여 다중 모드, 다중 편파 영상 및 광대역 관측이 가능하다. 유럽 국가 중에서

독일은 과거 SIR-Series 기술개발 경험을 토대로 군사 위성 SAR-Lupe와 상용 위성 TerraSAR-X를 동시에 개발 운용하고 있다. SAR Lupe는 독일 국방부에서 주도하여 1 m 이하의 초고해상도의 목표물 식별 목적으로 5개의 소형 SAR 위성을 위성군 형태로 운용하므로 짧은 재방문 주기 특성을 가지고 있다. 현재까지 SAR-Lupe 시리즈의 첫 번째 위성이 2006년 12월에 발사되었으며, 그 후에 2호기는 2007년 7월, 3호기는 2007년 11월, 4호기는 2008년 3월, 마지막 5호기는 2008년 7월 22일 발사함으로써 모두 5개의 소형 SAR 위성을 성단운용 하고 있다. 또한 독일은 2007년 6월 15일에 최초의 고해상도 상용 위성인 Terra SAR-X를 발사하여 SAR 기술의 선두 주자로서 면모를 갖추게

<표 1> 저궤도 위성 SAR 현황

개발국	위성	발사 시기	주파수	해상도(m)	관측폭(km)	편파	고도(km)
EUROPE	ERS-1	1991. 7	C band	30	5~100	VV	785
	ERS-2	1995. 4	C band	30	5~100	VV	785
	ENVISAT	2002. 3	C band	30~1,000	100~400	Full	800
JAPAN	JERS-1	1992. 2	L band	18	75	HH	568
	ALOS	2006. 1	L band	7~100	20~350	Full	692
CANADA	Radarsat-1	1995. 11	C band	8~100	50~500	HH	798
	Radarsat-2	2007. 12	C band	3~100	20~500	Full	798
GERMANY	SAR-Lupe	2006. 12(1st) 2007. 7(2nd) 2007. 11(3rd) 2008. 3(4th) 2008. 7. 22(5th)	X band	0.5, 1	5.5, 8	Single	500
	TerraSAR-X Tandem-X	2007. 6(1st) 2010.6. 21(2nd)	X band	1, 3, 16	5~150	Full	514
ITALY	Cosmo SkyMed	2007. 6(1st) 2007. 12(2nd) 2008. 10(3rd) 2010. 11. 6(4th)	X band	1, 3, ~100	10~200	Full	619
ISRAEL	TecSAR	2008. 1	X band	1, ≤3, 8	5~51	HH, VV, HV, VH	550
INDIA	RISAT	2009	C band	3~50	30~240	Dual	608

되었으며, 전자 빔 조향 기능을 보유하여 넓은 관측 영역과 빠른 전자 빔 조향이 가능하고 다중 편파, GMTI 기능 등을 시험 모드로서 보유하고 있다. 이와 연계하여 2010년 6월 21일 성공적으로 발사한 TanDEM-X는 TerraSAR-X의 후속 모델로 인터페로메트릭 SAR를 사용하여 정밀 입체 고도 정보 DEM 정보를 제공하고 있다. 이탈리아에서는 이탈리아 우주국과 국방부가 주관하여 COSMO SkyMed 위성 4개를 개발하였으며, 2007년 6월 7일에 첫 번째 시리즈를 발사하였고, 2호기는 2007년 12월, 3호기는 2008년 10월, 마지막 4호기는 최근 2010년 11월 6일에 각각 발사되어 운용하고 있다. 이탈리아 최초의 고해상도 군사 위성으로 능동 배열 안테나를 적용한 다중 편파 레이더로서 1 m 급의 고해상도의 영상을 획득할 수 있다. 이스라엘은 2000년 중반부터 SAR 위성인 TecSAR를 개발하여 2008년 1월에 발사 하여 성공하였다. TecSAR는 1 m 이하의 고해상도 영상을 제공하며, 소형 경량 목적으로 우산 형태의 반사경 안테나를 사용하며 위상 배열 안테나를 사용하는 다른 위성과 달리 제한된 빔 조향 범위를 갖고 있다.

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

캐나다는 자국의 SAR 영상 수요와 해외 판매를 목적으로 최초의 상용 SAR 위성인 RADAR SAT-1을 1995년에 발사하여 운용하고 있다. RADARSAT-1은 10 m급 해상도, 500 km까지의 넓은 관측폭, 17°~50°의 넓은 입사각 범위 등 우수한 성능을 보유하고

있다. 또한 후속 모델인 RADARSAT-2는 RADARSAT-1의 수명 기간이 끝나던 1998년 이후부터 개발을 시작하였으나, 개발 과정에서 미국과의 역할 분담 및 사업자 변경 등으로 인하여 무려 10여년 가까이 지연되었으나, 2007년 12월에 성공적으로 발사되었다. 이 위성은 대표적인 상용 SAR 위성으로서 3 m급 영상 해상도와 완전 다중 편파 기능을 제공하며, 스캔 방식의 광역 관측 기능을 가지고 있다.

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

그 밖에 인도 우주국에서는 다중 모드 SAR 위성인 RISAT을 개발하여 2009년 4월에 발사 운용 중이다. C-밴드 주파수로 다중 편파를 적용하였으며, 스폿라이트 모드일 경우 2 m 이내의 해상도를 제공한다. 그리고 중국에서는 첫 번째 위성 SAR인 RRS-1을 2006년에 개발하였으며, 현재 2006년부터 2010까지 중국 5년 계획에 따라 2번째 SAR 위성을 개발 중이다.

국내에서는 90년대 중반부터 한국항공우주연구원이 주관하여 주로 광학 카메라 탑재체를 다목적 실용위성에 탑재하는 아리랑 위성 1, 2, 3호시리즈를 개발하여 왔으나, SAR 탑재체는 국가적인 SAR 위성 개발 필요성이 대두되어 90년대 중반부터 국방과 학연구소에서 본 저자가 최초로 위성 SAR 프로젝트를 창시하여 연구 개발을 착수하였으며, 영국 마르코니스페이스 등과 해외 기술 협력을 통하여 상당한 수준의 위성 SAR 시스템을 설계하였다<sup>[5]</sup>. 그 후 국가적인 IMF 등의 영향으로 지연되다가 2000년대 중반부터 한국항공우주연구원을 주관 기관으로 해외 협력을 통하여 개발을 추진하여 왔으며, 현재 SAR 탑재체는 다목적 실용위성 5호(KOMPSAT-5)에 탑재

하여 지상 시험 중에 있으며, 2011년 중순에 발사를 준비하고 있다. 위에서 언급한 바와 같이 2007년을 기점으로 2010년까지 세계 각국에서 경쟁적으로 저궤도 위성 SAR의 개발이 추진되어 현재 13개의 위성이 운용되고 있다. 각국에서 최근 개발되었거나 개발 중인 주요 위성들을 간략히 소개하면 다음과 같다.

### 3-1 RADARSAT

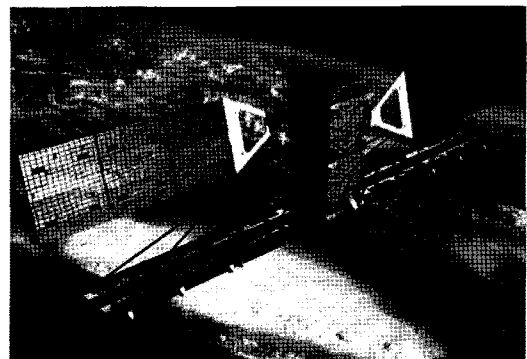
캐나다 우주국에서는 RADARSAT-1을 개발하였으며, MDA(Macdonald, Detteler and Associates Ltd)와 공동으로 RADARSAT-1과 RADARSAT-2를 개발하였다. RADARSAT-1은 지구의 환경 변화와 천연 자원의 발굴을 위한 대형 위성으로 1995년 11월 4일 발사되었다. RADARSAT-1은 고도 798 km에서 운용되는 태양 동기 극궤도 위성으로 경사각 98.6°, 100.7분의 주기를 가진다. 전체 중량은 2,750 kg, 최대 송신 전력은 5 kw 정도이며, 현재 5년의 설계 수명을 훨씬 뛰어넘은 16년째 운용 중이다. C-밴드인 5.3 GHz의 주파수로 HH 단일 편파를 사용하는 RADARSAT-1의 영상 모드는 크게 5개의 모드로 구분된다. 표준(Standard) 모드인 경우 관측폭 100 km, 해상도 28 m의 영상을 제공하며, 광대역(Wide Swath) 모드는 해상도 측면에서 표준 모드와 유사하지만 150 km의 넓은 관측폭을 가진다. 높은 해상도의 영상을 제공하는 고해상도(Fine Resolution) 모드는 50 km의 관측폭에 9 m의 해상도를 가진다. 스캔(Scan) SAR 모드는 세부적으로 관측폭 300 km, 해상도 50 m의 영상을 제공하는 모드와 관측폭 500 km, 해상도 100 m의 영상을 가지는 모드로 운용된다. 넓은 입사각의 범위를 가진 광범위(Extended) 모드는 75 km의 관측폭을 가지며 해상도는 28 m이다.

RADARSAT-2는 [그림 4]와 같이 설계 수명이 7년이며, 중량이 2,200 kg으로 RADARSAT-1보다 가볍다<sup>[9],[10]</sup>. C-밴드인 5.405 GHz를 사용하며, 고해상도(Fine), 3중 고해상도(Triple fine), 초고해상도(Ultra-

Fine), 표준(Standard), 광범위(Extended), 광대역(Wide Swath), 스캔(Scan) SAR 모드로 운용된다. 초고해상도 모드는 3 m의 해상도를 제공한다. RADARSAT-1은 HH 편파만을 사용하였지만, RA DARSAT-2는 VV 편파, 교차 편파(HV 또는 VH), 이중편파(HH+HV 또는 VV+VH), 직교 편파(HH+VV+HV+VH)의 사용이 가능하다. 또한 RADARSAT-1은 단일 방향 영상 획득만 가능하므로 재방문 주기가 긴 단점이 있으므로 RADARSAT-2에서는 왼쪽/오른쪽 관측(Left/Right-Looking) 모드를 적용하여 재방문 주기를 반으로 줄이도록 운용한다.

### 3-2 ALOS-PALSAR

ALOS(Advanced Land Observing Satellite)는 일본 우주국에서 개발한 SAR 위성으로 2006년 1월 24일 성공적으로 궤도에 올랐다. 일본의 JERS(Japanese Earth Resource 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 있다<sup>[11],[12]</sup>. ALOS는 적도면에서 고도 691.65 km로 태양 동기 부귀환(subcurrent) 궤도를 가지며 운용된다. 중량은 약 4,000 kg, 전력은 2 kW이며, 위성의 형상은 [그림 5]와 같다. 일본의 2번째 위성용



[그림 4] RADARSAT-2(캐나다)

SAR인 PALSAR는 L-밴드인 1.27 GHz의 주파수에서 다중 편파를 이용하여 다중모드의 SAR 영상을 지원한다. 고해상도(Fine Resolution) 모드는 170 km의 관측폭을 가지며, 해상도는 약 10 m 이다. 스캔(Scan) SAR 모드는 250~350 km의 관측폭으로 해상도는 떨어지지만 넓은 지역을 관측할 수 있다. 편파(Polarimetric) 모드는 30 km의 관측폭을 가지는 빔을 사용한다.

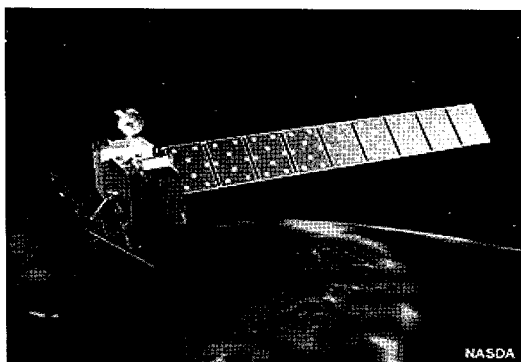
### 3-3 SAR-Lupe

SAR-Lupe는 독일 국방부 주관의 소형 고해상도 정찰 위성으로 Bremen의 OHB사에서 5개의 소형 위성을 성단 운영하여 재방문 주기를 빈번하게 하는 개념으로 개발하여 운영하고 있다. 독일의 첫번째 고해상도 SAR 정찰 위성으로서 SAR-Lupe 1호기는 2006년 12월 19일에 성공적으로 발사하여 후속으로 2호기는 2007년 7월, 3호기는 2007년 11월, 4호기는 2008년 3월, 마지막으로 5호기는 2008년 7월 22일 최종 발사에 성공하였다. SAR-Lupe는 기상 상태와 자연 재해의 실시간 감시와 군사적인 용도로 개발되어, RF 통신이 암호화되어 X-밴드에서 다운 링크가 수행되며, 업 링크는 S-밴드에서 자료 전송이 이루어진다. 위성체의 중량은 대략 770 kg이고, 5개의 위성은 3개의 궤도면에서 550 km의 평균 고도를 가지고 운영된다. SAR-Lupe의 탑재체인 X-밴드 SAR는 9.65 GHz의 중

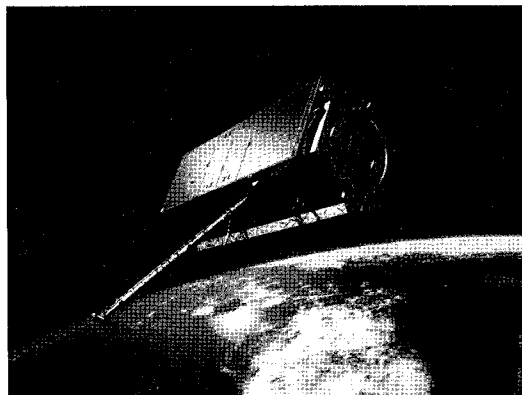
심 주파수를 사용하며, 안테나는 파라볼라 안테나로 크기는 가로 3.3 m, 세로 2.7 m이다. SAR 영상 모드는 1 m의 해상도를 가진 스트립맵 모드와 0.5 m의 해상도를 가진 스폿라이트 모드로 동작한다.

### 3-4 TerraSAR-X

독일 항공우주연구소와 유럽 항공우주 방위산업체 EADS가 공동으로 개발하여 TerraSAR-X를 2007년 6월 15일 발사하였다. TerraSAR-X는 [그림 6]과 같이 X-밴드에서 다양한 모드별 해상도와 편파를 가지며, 위상 배열 안테나를 이용하여 인터페로메트리와 GMTI 기능을 가지고 있다. 태양 동기 방식의 TerraSAR-X는 11일을 주기로 운용하며, 고도 514 km, 97.44°의 경사를 가지고 수명 5년으로 운용된다. 독일항공우주연구소 DLR의 X-SAR/SIR(Shuttle Imaging Radar)-C와 SRTM(Shuttle Radar Topography Mission)의 기술 경험을 토대로 개발되었으며 스트립 맵(Strip Map), 스캔(Scan) SAR, 스폿라이트(Spot Light)의 3가지 운용 모드를 가진다. TerraSAR-X의 운용 모드는 스트립 맵 모드는 30 km의 관측폭을 가지며, 편파의 종류에 따라 최대 3 m 해상도의 영상을 제공한다<sup>[13],[14]</sup>. 스캔 SAR 모드는 광범위한 탐색을 위한 모드로 100 km의 넓은 관측폭을 가지며 해상도는 16 m이다. 스



[그림 5] ALOS - PALSAR(일본)



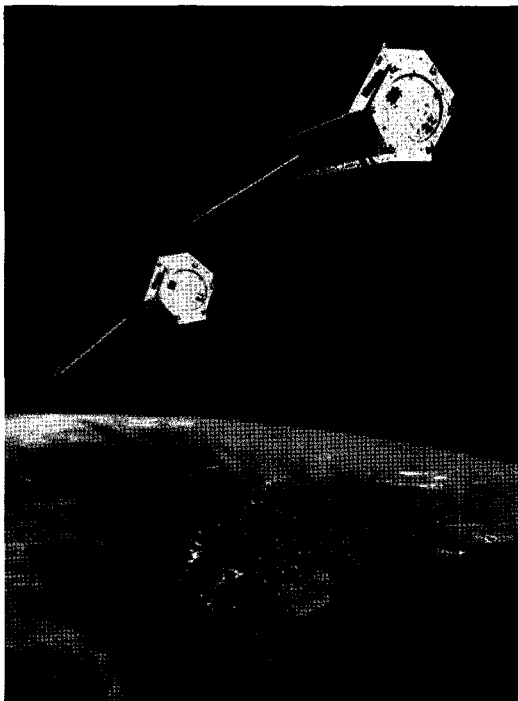
[그림 6] TerraSAR-X(독일)



푹 라이트 모드는 최대 1 m의 고해상도 모드로써 10 km의 관측폭을 가진다. TerraSAR-X는 러시아-우크라이나의 DNEPR-1 발사체를 통해 2007년 6월 15일 발사되어 매우 짧은 기간에 초기 레이다 영상을 얻었으며, 검보정 기간을 거쳐 현재 1 m급의 고해상도 영상을 제공하고 있다. Terra-X의 후속 모델로 2010년 6월 21일 TANDEM-X가 발사되어 [그림 7]과 같이 듀얼 위성 인터페로메트리를 이용한 입체영상을 실시간으로 얻을 수 있는 최초의 위성 SAR를 개발하여 고해상도의 지형 고도 정보자료를 얻을 수 있도록 운용하고 있다.

### 3-5 COSMO Skymed

이탈리아는 민군 겸용으로 이탈리아 우주국과 국방부가 공동 주관하여 COSMO Skymed를 개발하였다. SAR 센서는 서로 다른 궤도를 가지는 4개의 위성



[그림 7] TanDEM-X (독일)

에 탑재하여 동시에 전 세계를 관측하며, 군사적으로 감시정찰 및 보안뿐만 아니라 상업 및 과학 목적으로 민간인에게 정보를 제공한다. 5년 수명의 COSMO Skymed의 첫 번째 위성은 Delta II 7420-10C의 발사체를 통해 2007년 6월 8일 1호가 발사되었고, 2호가 2007년 12월 9일, 3호는 2008년 10월 25일, 마지막 4호는 2010년 11월 6일 각각 발사되었다.

COSMO Skymed 위성은 [그림 8]과 같이 최신 능동 위상 배열 안테나를 사용한 X-밴드 SAR 센서를 탑재하고 있으며, 질량은 1,700 kg의 위성으로 최고 송신 전력은 5 kW이다. COSMO Skymed는 HH, VV, HV 또는 VH 편파를 이용하여 단일 편파와 이중 편파 모드를 제공한다<sup>[15],[16]</sup>. 단일 편파에서는 Spotlight 모드, Strip Map 모드, 광대역 ScanSAR 모드, 초광대역 Scan SAR 모드로 다양하게 운용할 수 있고, 이중 편파에서는 Ping Pong 또는 Strip Map 모드만 가능하며, 30 Km 관측폭에 15 m의 해상도를 제공한다. Spotlight 모드는 10 km의 관측폭에 1 m의 고해상도를 지원하며, 스트립 모드는 40 km의 관측폭에 3~15 m의 해상도를 지원한다. 광대역 모드는 100 km 관측폭에 30 m의 해상도를 가지며, 초광대역 모드는 200 km 관측폭에 100 m의 해상도를 가진다.

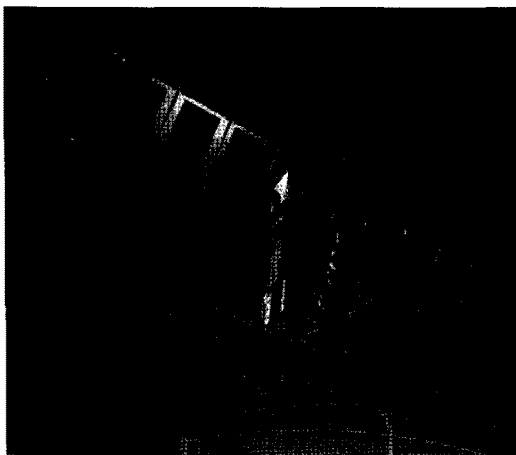
### 3-6 KOMPSAT-5

한국의 다목적 위성 시리즈로서 KOMPSAT-5(Korea Multi-Purpose Satellite-5)는 국가 우주 개발 중장기



[그림 8] COSMO-Skymed(이태리)

계획에 의한 추진되는 다목적 실용위성 5호로 SAR를 탑재한 최초의 영상 레이다 위성이다. 한국항공우주연구원 (KARI)이 주관하여 한반도의 전천후 지상 및 해양 관측을 위한 저궤도 소형 실용 SAR 위성으로써, 다양한 수요처를 중심으로 지구 환경 탐사 및 자연 재해 관측은 물론 국가적으로 중요한 재난 관리, 국경 지리 및 해양 관리 등의 정부 각 부처가 참여하는 국가적 수요에 의하여 개발하고 있다. 본 사업에 앞서 2004년 말부터 4개월간 기획 연구를 한 후 2005년 6월부터 착수하여 2010년 12월 발사를 목표로 추진하였으나, 현재 지연되어 2011년 중반에 발사 예정이다. 고해상도의 SAR 탑재체 개발은 이태리의 Tales Alenia Space Italy(TASI)의 COSMO-Skymed의 기본 모델을 기반으로 해외 기술 협력을 통하여 수행되었다<sup>[17]</sup>. KOMPSAT-5 형상은 [그림 9]와 같으며 수명 5년, 고도 550 km, 총 중량 최대 1,400 kg, 지름 2.6 m, 높이 4.0 m, 탑재체 질량 880 kg의 저궤도 위성으로 태양 동기 궤도의 반복 주기는 28일이다. SAR 탑재체는 X 밴드의 다중 편파의 위상 배열 안테나를 이용하여 다중 영상 모드 기능을 가지고 있으며, m급의 고해상도에서 수십 m급의 광역 영상 모드로 운용하며, 관측폭과 해상도를 가변할 수 있다.



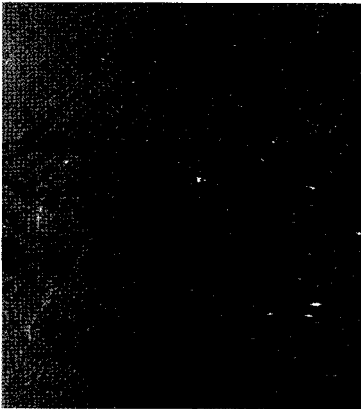
[그림 9] KOMPSAT-5 (한국)

#### IV. SAR 활용 기술 동향

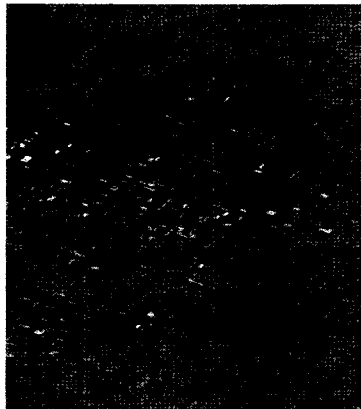
SAR는 구름이나 비와 같은 기상 조건이나 일조 현상에 관계없이 전천후로 고해상도 영상을 제공하므로 다양한 탑재 시스템과 응용 분야에 걸쳐 활용되고 있다. 활용 분야는 크게 과학, 민수 및 군사 응용 분야로 나누어지며, 과학 분야에서는 지표면 탐사, 지도 제작, 생태계 연구, 산림 황폐화 연구, 해양 연구 등으로 활용되며, 민수용으로는 지진, 화산, 산불, 홍수 등 자연 재해 감시와 기름 유출, 공해 감시, 자원 관리, 농업, 산림 분포 등에 많이 활용된다. 특히, 군사 응용 분야는 국경 감시, 군 시설 탐지, 군사 표적물 이동, 군함 탐지, 표적 식별, 작전 입체 지도 작성, 공격성과 분석 등에 활용된다. SAR 영상은 사용 목적에 따라 환경 감시, 입체 영상 지도제작, 숲 및 지표면 투과 탐지, 변화 탐지, 적 탐지 식별, 적 동태 및 침투 감시, 항법 및 유도 등의 응용 분야에 주로 활용된다.

환경 감시 분야에서 SAR 영상은 산림 벌목, 훼손 및 산불 피해 조사, 해양 기름 유출 탐지, 자연 재해 감시, 해류 흐름 관측, 빙하 지역의 눈, 얼음 분포와 특성 분석, 농작물의 종류, 발육 상태, 토양 수분 및 재배 면적 탐지 등에 사용되고 있다. [그림 10], [그림 11], [그림 12]는 각각 인도 봄베이 근방 아라비아해역의 기름 유출과, 캐나다 매니토바 경작 지역의 농작물 작황 현황, 남극 웨들해의 빙하 분석에 SAR 영상이 활용되는 예를 보여 준다.

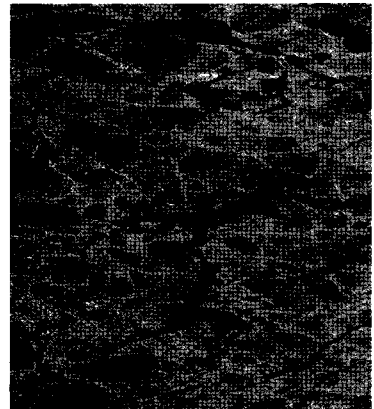
고해상도 위성 영상을 이용한 수치 지도 제작 및 갱신은 종래의 지상 측량 및 항공 사진 측량에 비해 광역 지역을 빠른 시간에 효과적으로 처리할 수 있으며, 그래픽 시뮬레이션을 수행을 통해 임의 방향의 3차원 조감도를 제작할 수 있다. 이를 바탕으로 도심지 각종 인공 구조물 지도화, 인터페로메트리를 이용한 3차원 입체 영상, 지도 제작 등에 사용되고 있다. 또한 숲 또는 지표면에 대한 투과 탐사를 통해 지하 고



[그림 10] 기름 유출



[그림 11] 농작물 작황



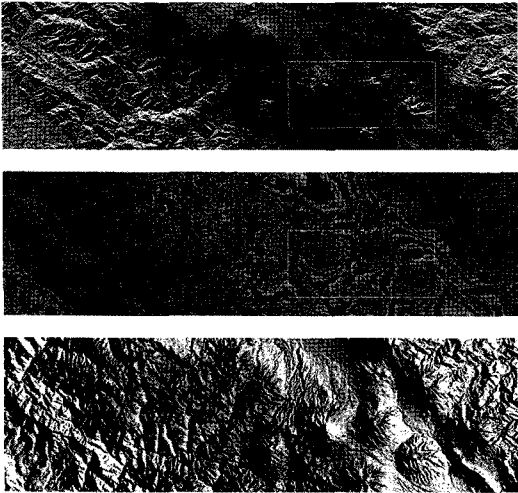
[그림 12] 빙하 관찰

대 유적 및 지하수 매장 탐지, 위장 또는 은폐되어 있는 표적 탐지, 지하 매설 전기선 등에서도 영상의 활용이 가능하다. 이밖에도 트럭, 탱크, 미사일 등 표적 이동 탐지와 고정 표적 변화 및 군 부대 이동 변화를 탐지 등에 활용되는 변화 탐지 분야와 특수 표적물 탐지, 분류, 식별, 작전 지역의 공격 성과도 판별, 자연 지형과 군사적인 인공 구조물 식별 등에 활용되는 표적 탐지, 식별 분야, 그리고 국제 규범에 위반하는 밀수 선박 감시, 국경 및 해안선 항구 감시, 적의 핵무기 및 생화학 무기 동태 감시 등에 활용될 수 있다.

#### 4-1 Interferometric SAR

인터페로메트릭(Interferometric SAR) 기술은 두 장 이상의 복소수 SAR 자료에서 위상차 정보를 이용하는 기술로서, 고해상도의 고도 정보를 추출할 수 있으며, 지표면의 지각 변동, 해수면 및 빙하의 이동 검출, 선박 및 지표면 이동 표적의 속도 정보를 추출할 수 있다. 이를 위해서는 두 개의 SAR 센서를 운용하여 두 장의 SAR 영상 자료를 획득해야 하며, 두 개의 안테나를 동시에 비행체에 탑재하여 한 안테나는 송수신을, 다른 하나는 수신만을 담당하는 형태로 운영할 수 있으며, 하나의 시스템을 시간적인 차

이를 두고 비슷한 비행 궤도를 재현하여 두 장의 SAR 영상 자료를 획득할 수 있다. 이와 같이 시간적 혹은 공간적으로 떨어져 있는 두 안테나는 레이다 펄스의 입사 방향에 수직으로 정렬하는 경우 탑재체 진행 방향에 수직이란 의미에서 XTI(Across-Track Interferometry)라고 하며, 수평으로 정렬하는 경우 탑재체의 비행 방향과 동일한 의미에서 ATI(Along-Track Interferometry)라 한다. 지형 고도에 대한 정보를 얻기 위해서는 XTI를 이용하며 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. XTI를 이용한 지형의 고도 정보 추출 기술은 지표면의 고도 모델인 DEM(Digital Elevation Model)을 생성할 수 있으며, [그림 13]은 X-SAR/SRTM(Shuttle Radar Topography Mission)으로부터 획득한 에콰도르 쿠토팍시(Cotopaxi) 화산 지역의 DEM 영상으로서, XTI를 이용한 DEM 생성 과정을 나타낸다. SAR 영상(상)으로부터 위상 정보(중)를 추출하고 이로부터 DEM(하)를 생성할 수 있다<sup>[18],[19]</sup>. 비행



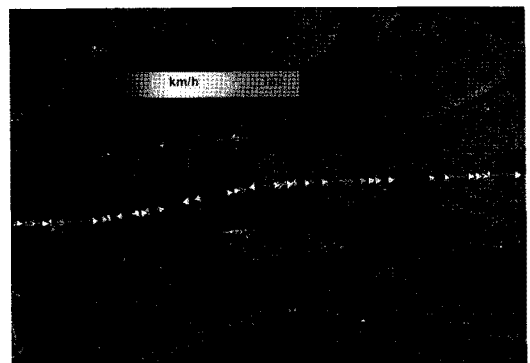
[그림 13] SRTM/X-SAR로 획득한 DEM 영상

방향에 따라 송수신 안테나를 정렬한 ATI 기술을 지진에 의한 지표의 변위를 관찰하거나 빙하의 흐름, 마그마의 이동 등을 포착할 수 있다. 또한 지표면의 이동 표적의 속도 측정 기술은 최근에 개발되어 시험적으로 적용되는 기술이다. 두 안테나를 비행체가 진행하는 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 영이 될 것이지만, 표적이 이동한다면 도플러 효과에 의한 위상차가 발생한다. ATI는 주로 해류의 속도 벡터를 구하거나 지상의 이동 표적을 탐지에 응용한다.

#### 4-2 GMTI

GMTI(Ground Moving Target Indicator) 기술은 위성에서 지상의 이동 물체를 탐지하는 기술로서, 일반적인 SAR 영상은 고정된 지형 형상을 영상화하지만 GMTI는 도로상의 이동 물체나 해상의 선박과 같이 이동하는 물체를 탐지하여 식별하는데 매우 유용

하다. 어느 한 지역을 비행체의 속도에 따라 시간차를 달리하여 SAR 자료를 얻고, 위상차를 이용하여 물체의 속도를 구할 수 있다. 만약 정적인 표적이라면 두 영상의 위상차는 영이 될 것이지만, 표적이 이동한다면 도플러 효과에 의한 위상차가 발생한다. ATI는 주로 해류의 속도 벡터를 구하거나 지상의 이동 표적을 탐지하는 GMTI(Ground Moving Target Indicator)기술에 적용되고 있다. [그림 14]는 TerraSAR-X를 이용한 지표면 이동 표적을 검출한 결과이며, 이동체의 속도 정보까지 추정할 수 있다<sup>[20],[21]</sup>. 이동 표적 탐지를 위한 GMTI 기술은 위성 SAR의 플랫폼 이동으로 인해 고정 클러터가 도플러 변위를 가지며, 동시에 스펙트럼 퍼짐 현상이 발생한다. 그러므로 저속의 이동 표적을 탐지할 경우 클러터와 표적 신호가 오버랩되어 표적의 탐지가 어려워진다. 또한 SAR는 정적인 지형을 표적으로 하기 때문에 비행 방향에 수직으로 접근하는 물체는 추가적인 도플러 이동을 가지게 되며, 이는 방위 방향으로의 위치 오차를 발생시킨다. 이러한 문제를 해결하는 방법으로 위에서 언급한 ATI 기법이 있으며, 또 다른 방법인 DPCA(Displaced Phase Center Antenna)가 있다. 최근에는 다중 채널 안테나를 통해 시간과 공간적인 2차원의 필터를 수행함으로써 이동 표적의 탐지 확률을 향상시키고 정확한 표적의 위치 획득을 가능하게 하는 STAP



[그림 14] ATI를 이용한 이동표적 탐지

(Space-Time Adaptive Processing) SAR 기법의 연구가 활발히 진행 중이다.

#### 4-3 Polarimetric SAR

다중 편파 기법은 전자파의 편파에 따른 산란 특성을 이용하여 입사파의 편파와 산란되어 수신되는 편파의 순서에 따라 HH, HV, VH, VV의 네가지 편파 모드로 표현된다. 기존의 위성 SAR들은 HH 또는 VV 중에서 한 가지 편파로 고정되었으나, ENVISAT을 비롯한 RADARSAT-2, PALSAR, TerraSAR-X, COSMO-SkyMed 와 같이 최신 위성에서는 대부분 편파 특성을 가지는 영상을 획득할 수 있는 기능이 있다. 4 가지 편파 모드 중에서 HH, VV 두 개를 선택할 수 있는 이중편파(Dual Polarization) 또는 모든 크로스 편파를 얻을 수 있는 Quadrature-Polarization 기술을 적용하고 있다. 지표면의 매질에 따라 전파에 의한 산란 특성이 다르기 때문에 다중 편파 SAR 기술은 주로 지표 분류 기술에 많이 응용되고 있다. 또한 다중 편파 SAR 영상은 각 편파 밴드에 따라 [그림 15]와 같이 색상을 할당하여 단조로운 그레이 레벨의 SAR 영상에서 광학 영상과 같은 컬러 정보를 제공할 수 있다.

#### 4-4 Bistatic SAR

현재 운용되고 있는 SAR 위성은 모노스테틱 레이다를 그 기반으로 하고 있다. 모노스테틱 SAR 시스템은 송신용 레이다와 수신용 레이다를 동시에 탑재하여 운용하므로 시스템 구조가 간단하고 영상 획득 기하 구조가 단순하기 때문에 수신된 레이다 신호를 처리하는 과정이 복잡하지 않다. SAR 센서로부터 송신된 전파 신호가 지표면 표적에 후방 산란되어 돌아오는 반사 신호를 이용하는 모노스테틱과는 달리 수신용 레이다를 분리하여 서로 다른 지역에서 송·수신을 하게 함으로써 모노스테틱에서 확보하지 못하는 정보를 획득하는 바이스테틱 SAR 개념을

도입하는 연구가 진행 중이다. 바이스테틱 레이다는 한 방향외에는 외부 정보를 얻을 수 없었던 모노스테틱 레이다와는 달리 다양한 각도의 정보를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 반면에 송·수신 레이다가 분리되어 있으므로 시스템을 따로 구성해야 하므로 레이다 시스템의 동기화 문제가 발생할 수 있으며, SAR 영상 형성 처리를 위하여 송신 레이다의 움직임과 수신 레이다의 움직임을 따로따로 기록한 후 영상 생성 시 개별 처리해야 하므로 모노스테틱 SAR보다 좀 더 정밀한 SAR 영상 형성 과정이 필요하다. 바이스테틱 SAR 개념을 적용하기 위해서는 아직 여러 가지 해결해야 할 복잡한 운용 요소들이 많기 때문에 현재 실험적인 연구 개발이 진행되고 있다<sup>[22],[23]</sup>. [그림 16]은 TerraSAR-X와 항공기 탑재 SAR 센서 PAMIR와의 실험을 위한 개념을 보여준다.

[그림 17]은 독일의 SAR 위성인 TerraSAR-X와 항공기 SAR인 F-SAR를 이용하여 획득한 모노스테틱 영상과 바이스테틱 영상을 나타낸다. 동일한 지역을 촬영하였기 때문에 전체적인 특징은 비슷하게 나타나지만 바라보는 각도의 차이에 의해서 일부분의 산란 특성이 다르게 나타나는 것을 알 수 있다.



[그림 15] RGB 색상을 적용한 SAR 영상(적색: HH-VV, 녹색: 2HV, 청색: HH+VV)



[그림 16] Bistatic SAR 실험 구성도: TerraSAR-X와 Airborne SAR PAMIR



(a) 모노스테틱 영상 - TerraSAR-X



(b) 바이스테틱 영상 - TerraSAR-X, F-SAR

[그림 17] TerraSAR-X와 F-SAR를 이용한 모노스테틱/바이스테틱 SAR 영상

## V. SAR 기술 발전 추세

최근 개발되고 있는 위성 SAR에 적용하고 있는

기술 추세는 능동 위상배열 안테나를 이용한 다중 영상 모드와 정밀 표적 식별 및 이동표적 탐지 등의 새로운 기술을 적용하는 추세이다. 주요 기술은 크게 정밀 표적 식별을 위한 초고해상도 기술과 이동 표적 탐지 기술, 다양한 주파수와 편파를 이용한 표적 분류 기술, 입체 영상 제작과 정밀 고도 정보를 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 개발하는 저궤도 위성 방향으로 추진하고 있다.

다중 모드 기법은 원하는 지역 및 표적의 영상을 빔 조향 안테나를 이용하여 표준 영상 모드, 광역 감시 모드 및 고해상도 모드 등의 다양한 모드별 영상을 획득할 수 있는 기술이다. 전자광학 센서의 경우, 고해상도의 영상은 획득할 수 있지만 광역감시 및 고해상도 모드를 동시에 운용하기 어렵다. 그러나 SAR 센서는 전자적으로 빔을 조향하고 송수신 파형을 적절하게 변형시켜줌으로써 응용 목적에 적합하도록 해상도와 관측폭을 조정할 수 있기 때문에 활용 분야의 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 편파를 HH, HV, VH, VV의 4가지의 Quadrature-Polarization 기술을 적용하는 추세이다.

인터페로메트리 SAR 기술로서 최근 발사된 TANDEM-X는 듀얼 위성으로 인터페로메트리 영상을 얻을 수 있다. 또한 탑재체의 진행 방향에 수직으로 두 개의 안테나를 동시에 탑재하여 XTI(Across-Track Interferometry) 기술과 진행 방향에 따라 ATI(Along-Track Interferometry)를 이용한 이동 표적의 속도 측정 기술은 최근에 개발되어 시험적으로 적용하고 있다. 지상의 이동 표적을 탐지하는 GMTI(Ground Moving Target Indicator) 기술은 최근에 위성 SAR에서

중요한 기술이며, 상용으로 광범위한 지역의 고속도로 교통량을 감시에 활용할 수 있다. 최근에는 다중채널 안테나를 통해 시간과 공간적인 처리를 동시에 수행하여 표적의 탐지 확률을 향상시킬 수 있는 STAP(Space-Time Adaptive Processing) SAR 기법은 디지털 배열 안테나 기술과 함께 발전하고 있다.

최근 지구 기후 변화로 인한 기상 이변이 전 세계적으로 나타나고 있으므로 관심 지역에 대하여 빠르고 정밀의 SAR 영상 정보 획득이 매우 중요해 지고 있다. 재방문 주기를 짧게 하기 위하여 다수의 위성을 운용하면 비용은 많이 소요되지만 관심 지역을 자주 관측할 수 있다. 최근 이탈리아의 COSMO Skymed와 독일의 SAR-Lupe와 같이 다수의 위성을 위성군으로 성단 운용하고 있으므로 국가간 상호 협력을 통해 특정 지역 정보를 공유한다면 세계적인 지구 재해를 관측하거나 특정 국가 안보 같은 긴급한 관측이 요구되는 군사 분야에도 매우 정밀한 정보를 실시간으로 제공하는데 활용도가 높아질 것으로 기대된다.

## VI. 국제적 SAR 학술 활동

SAR 기술 분야는 RADAR 기술의 일부이므로 주로 IEEE AESS(Aerospace Electronics Systems Society)가 주최하는 International Radar Conference를 통하여 매년 국제 학술대회가 개최된다. 국제적인 Radar Conference는 1970년대부터 매 5년 주기로 미국, 중국, 영국, 호주, 프랑스 순서대로 매년 개최된다. 지역적인 레이더 학술대회로서 미국에서는 IEEE 주관으로 National Radar Conference가 매년 5월경에 개최되고, 독일에서는 9월 경 IRS(International Radar Symposium)가 개최되며, 유럽에서는 10월경 EuRad(European Radar)가 European Microwave Week 기간 동안 개최되며, 중국에서는 CIE Radar Conference 등이 개최된다. 또한 IEEE GRSS가 주관하는 IGRSS에서는 주로 원격 탐사에 관련한 SAR 및 활용 분야를 중심으로 매년

7월경 개최된다.

국제적인 SAR 기술 분야 전문 학술 행사는 유럽의 EUSAR(European SAR Conference)와 동아시아의 APSAR(Asia-Pacific SAR Conference)가 주류를 이루고 있다. EUSAR는 지난 1996년에 시작되어 매 2년마다 짝수해에 개최하며, 오는 2012년에는 9회째로 독일 Nuremberg에서 열린다. APSAR는 지난 2006년에 10월 중국 상하이에서 저자를 포함한 동아시아 각국의 APSAR 전문 위원들이 참여하여 발족하였으며, EUSAR와의 차별화를 위하여 매 2년마다 홀수해에 중국, 한국, 일본, 싱가포르, 호주 등의 순서로 매 5년 주기로 개최한다. 지난 2007년과 2009년에는 중국 황산과 시안에서 각각 개최되었다. 올해 2011년 APSAR는 3회 행사로서 우리나라에서 주관한다. 오는 2011년 9월 26~30일간 서울 교육문화회관에서 개최하며, 논문 초록 접수 기간은 2011년 3월 14일이다. 본 저자는 지난 2009년 국제 APSAR 위원회에서 General Chair로 선임되었으며, 한국전자과학회 레이더연구회가 주최하며, IEEE AESS 및 GRSS의 공동 후원으로 추진된다. 추가 학술 후원기관은 IEEE AESS and GRSS Korea Chapter, IEEE AESS and GRSS China Chapter, IEEE GRSS Japan Chapter, CIE, IEICE 등이다.

주요 논문 발표 주제 분야는 최근 SAR 기술 발전 추세를 고려하여 다음과 같이 5개 분야로서 SAR System, SAR Technology, SAR Processing, SAR Application, RADAR Technology이다.

### A. SAR Systems

1. Spaceborne, Airborne Systems and Missions
2. SAR/ISAR Modeling and Simulation
3. Ultra Wideband and High Resolution SAR Systems
4. Advanced SAR Concepts and Modes
5. Bi-and Multi-static SAR Systems
6. Unmanned Aerial Vehicle and Millimeter Wave SAR Systems

## B. SAR Technology

1. SAR Antennas, T/R Modules, and Phased Arrays, Digital Beam Forming
2. SAR Components and Subsystem
3. On-Board/ Real-Time SAR Processing
4. SAR/ISAR Calibration and Verification
5. Interferometry
6. Polarimetry
7. Anti-Jamming and SAR Interference Suppression

## C. SAR Signal Processing

1. High Resolution SAR Processing
2. Data Fusion and Information Retrieval
3. SAR/GMTI/STAP and Change Detection
4. Feature Extraction and Analysis
5. Image Filtering, Correction and Enhancement
6. Archiving, Data Formats and Distribution
7. ISAR Signal Processing

## D. SAR Applications

1. Post-Processing Techniques
2. Data Compression and Mining
3. Hazards and Disasters Monitoring
4. Urban and Land Surface Remote Sensing
5. Atmosphere and Ocean Observation
6. Polarimetry and/or Interferometry
7. Data Fusion and Tomography Applications
8. Target Recognition, Classification and Segmentation

## E. Radar Technology

1. Radar System Architectures
2. Radar Component and Subsystems
3. Antenna Technology and Adaptive Arrays
4. Waveform Design and Signal Processing
5. Detection and Estimation, and Tracking

## 6. RCS Measurement and Analysis

7. Radar Interference Suppression
8. UWB, GPR, Bio-Medical Imaging Radar
9. Automotive Radar
10. Civil/Military/Security Radar Applications
11. Other SAR/Radar-Related Topics

## Ⅶ. 결 론

SAR 기술 역사 50년을 뒤돌아 보면 최근 10여년 사이에 최신 영상 레이다(SAR) 기술이 급속히 발전함에 따라 인공위성, 항공기 및 무인항공기에서 전천후 정보 획득 센서로서 중요성이 매우 높아지고 있다. 군사용으로는 전천후로 10 cm 급의 초고해상도의 표적 탐지 및 식별이 가능해짐에 따라 정밀 감시 정찰에 획기적인 발전은 물론, 최근 지구 기후 변화와 기상 이변에 따른 자연 재해로 인한 날씨에 관계 없이 관측할 수 있기 때문에 과학 및 민수용으로도 활용 범위가 매우 넓어지고 있다. 90년대의 위성 SAR 개발 추세는 대부분 대형 단일 위성으로서 다중 임무를 수행하는 목적으로 여러 가지 센서를 동시에 탑재하여 고 가격, 고 중량, 장기간의 개발 기간 등이 요구되었지만, 최근 2000년대에는 기술의 발전으로 SAR 위성은 임무를 단일화하여 소형 경량의 고해상도 위성을 단기간에 낮은 개발 비용으로 개발하는 추세이다. 특히 2007년과 2010년 사이에 유럽 여러 국가에서는 군용 및 민수용으로 X 대역의 매우 유사한 고성능의 저궤도의 고해상도 SAR 위성을 경쟁적으로 개발하여 궤도에 집입시켰다. 현재 2010년을 정점으로 3~4년의 매우 짧은 기간에 유사 이래 최고 많은 13개의 SAR 위성들을 시리즈로 발사하여 비로소 “저궤도 위성 SAR 전성시대”로 들어서게 되었다. 국내에서도 다목적 실용 위성 시리즈로 SAR 레이다를 탑재한 최초의 레이다 관측위성 KOMPSAT-5이 2011년 중반에 발사할 예정이다. 최근 기술 추세



는 능동 위성 배열 안테나를 이용한 다중 편파의 다중 영상 모드와 정밀 이동 표적 탐지 등의 새로운 기술을 적용하는 추세이다. 복합적인 센서와의 상호 보완적 운용을 통하여 SAR 영상뿐만 아니라 전자광학과 적외선 영상 정보와의 데이터 융합 기술이 중요해지고 있다.

우리나라는 아직 상대적으로 선진국에 비하여 국내 SAR 기술 기반이 취약하지만, 다목적 실용위성 5호 SAR 위성의 성공적인 발사와 후속으로 6호 SAR 위성의 연속 개발을 통하여 국내의 SAR 개발 기술 기반을 지속적으로 구축하고, 범 부처적인 활용 기술 범위를 넓혀 나가야 할 것이다. 특히 국내 독자적인 SAR 산업 기술 기반 구축과 지구 환경 탐사 등의 국제 프로그램을 리드하기 위해서는 안보 목적의 국가 수요 사업에만 국한하지 말고, 이제는 국가적으로 중급 해상도의 과학 및 상용 목적의 별도의 광역 관측 SAR 위성 발사를 위한 프로그램을 만들어야 할 시기라고 본다. SAR 기술은 항공기, 무인기, 위성 등에 공통으로 적용할 수 있는 전략 기술이므로 국가적인 SAR 탑재체 개발을 위한 연구를 활성화하고 SAR 전문인력을 양성하여, 세계적인 기술을 선도할 수 있기를 기대한다.

### 참 고 문 헌

- [1] 광영길, "위성탐재 영상 레이다 기술", 대한전자공학회지, 특집호 34(11), pp. 1276-1290, 2007년 11월.
- [2] 광영길, "Synthetic Aperture Radar: Systems, Technology, and Applications", 2005 레이다·SAR Workshop 발표집, 한국전자과학회(레이다연구회), pp. 9-31, 2005년 7월.
- [3] 광영길, "Synthetic Aperture Radar", 2010 레이다 워크샵 및 단기강좌, 한국전자과학회(레이다연구회), pp. 255-290, 2010년 7월.
- [4] Ian G. Cumming, Frank H. Wong, *Digital Processing of Synthetic Aperture Radar*, Artech House, 2005.
- [5] 광영길 외, "위성탐재 영상 레이다 (ROKSAR) 체계설계", 국방과학연구소, Report No. KTRC-517-991607, 1999년 12월.
- [6] 광영길, "X 밴드 고해상도 소형 위성탐재 SAR 체계설계와 성능특징", 한국전자과학회 논문지, 11(7), pp. 1258-1270, 2000년 10월.
- [7] Young K. Kwag, "Spaceborne X-Band small SAR system model design and its imaging performance characteristics", *Proceeding of the IEEE IGARSS Conference*, Sydney, Australia, Jul. 2001.
- [8] 광영길, "레이다 역사 100년", 한국전자과학회지 전자과기술, 16(1), pp. 54-64, 2005년 1월.
- [9] S. Riegger, C. Livingston, "Space based SAR missions, RADARSAT-2", *Proceeding CD of EUSAR 2010, Session 1.4*, Aachen, Germany, Jun. 2010.
- [10] <http://www.radarsat2.info/about/mission.asp>
- [11] M. Shimada, P. Lombardo, "ALSO-L-band SAR system for earth remote sensing", *Proceeding CD of EUSAR 2010, Session 6.4*, Aachen, Germany, Jun. 2010.
- [12] <http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/about/palsar.htm>
- [13] M. Zink, M. Bartusch, "TerraSAR-X/TanDEM-X", *Proceeding CD of EUSAR 2010, Session 2.4*, Aachen, Germany, Jun. 2010.
- [14] <http://www.infoterra.de/terrasar-x-satellite>
- [15] F. Dell'Acqua, P. Gamba, and R. Battaglia, "Applications and design of a multi-polarization 2nd Generation SAR for the COSMO/SKYMED Constellation", *Applications of Polarimetry and Polarimetric Interferometry, POLINSAR2005*, pp. 41-45, 2005.
- [16] <http://en.wikipedia.org/wiki/COSMO-SkyMed>
- [17] <http://www.kari.re.kr> 연구사업/위성/ 다목적실용 위성 5호/

- [18] Wolfgang Keydel, David Hounam, Regina Pac, and Marian Werner, "XSAR/SRTM-Part of a global earth mapping mission", *Proceedings of RTO SET Symposium on Space-Based Observation Technology*, RTO MP-61, p. 32, Oct. 2000.
- [19] N. F. Stevens, G. Wadge, "Towards operational repeat-pass SAR interferometry at active volcanoes", *Natural Hazards*, vol. 33, no. 1, pp. 47-76, 2004.
- [20] S. Suchandt, M. Eineder, R. Müller, F. Meyer, and G. Palubinska, "Development of a GMTI processing system for the extraction of traffic information from TerraSAR-X data", *EUSAR 2006- 6th European Conference on Synthetic Aperture Radar Dresden*, Germany, 2006.
- [21] H. Runge, S. Suchandt, A. Kotenkov, G. Palubinskas, U. Steinbrecher, and D. Weihing, "Traffic monitoring with TerraSAR-X", *Proceedings of IRS 2005*, DGON, pp. 629-634, Berlin, 2005.
- [22] S. V. Baumgartner, M. Rodriguez-Cassola, A. Nottensteiner, R. Horn, R. Scheiber, M. Schwerdt, U. Steinbrecher, R. Metzsig, M. Limbach, J. Mittermayer, G. Krieger, and A. Moreira, "Bistatic experiment using TerraSAR-X and DLR's new F-SAR system", *7th European Conference on Synthetic Aperture Radar*, vol. 1, pp. 57-60, 2008.
- [23] S. V. Baumgartner, M. Rodriguez-Cassola, A. Nottensteiner, R. Horn, R. Scheiber, M. Schwerdt, U. Steinbrecher, R. Metzsig, M. Limbach, J. Mittermayer, G. Krieger, and A. Moreira, "Bistatic experiment using TerraSAR-X and DLR's new F-SAR system", *7th European Conference on Synthetic Aperture Radar*, vol. 1, pp. 57-60, 2008.

≡ 필자소개 ≡

곽 영 길



1976년 2월: 한국항공대학교 항공통신공학과 (공학사)

1981년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학석사)

1987년 6월: 미국오하이오대학교 전기전자공학과 (공학박사)

1976년 3월~2001년 3월: 국방과학연구소 책임연구원, 레이다 신호처리 및 SAR 연구실장

1997년 2월~1999년 2월: 영국 Matra Marconi Space 위성 SAR 개발 프로젝트 책임자

2001년 3월~현재: 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 교수 및 대학부설 항공전자연구소 역임/현재 레이다 연구소 소장

2002년 4월~2008년 12월: 한국전자과학회 레이다연구회 위원장, 현재 우주전자연구회 위원장

2006년 7월~현재: 한국항공우주학회 항공전자부문 위원장

2000년~현재: IEEE Senior Member, IEEE International Radar Society 및 EUSAR/APSAR Committee 위원

2007년 9월~2008년 8월: 영국 옥스퍼드대학교, Dept of Engineering Science, 방문교수

2009년 11월~현재: General Chair of APSAR 2011, 대회장

2009년 1월~현재: 국회 한국과학기술정책연구회 회장

2010년 1월~현재: IEEE AESS Korea Chapter Chair

[주 관심분야] Radar System Design, Radar Signal Processing, Synthetic Aperture Radar Processing, UWB Radar Imaging, Collision Avoidance UAV and Automotive Radar, Adaptive Array and Interference Rejection