항공우주산업기술동향 3권1호 (2005) pp. 65~71
기술동향
www.kari.re.kr
/lib/index.html
에서 보실 수 있습니다.

차세대 위성탑재체 합성개구면레이더
(SAR : Synthetic Aperture Radar)

글/신 재 민 jmshin@kari.re.kr, **윤 재 철, 문 홍 열, 이 진 호, 천 용 식, 최 해 진**
한국항공우주연구원.아리랑위성 5호 사업단

1. 서론

인공위성(Satellite) 개발 및 위성영상 정보획득기술은 동서 군비경쟁이 치열하던 1960년대부터 미국과 구소련의 첩보위성 개발과 운용에 힘입어 발전해 왔다. 위성기술은 인공위성에 광학카메라를 장착하여 다양한 지역의 지상영상자료를 수집하고 분석하면서 수요가 증가하였고 그로인해 기반기술들의 비약적인 발전이 이루어졌다. 또한 초창기 상대국에 대한 정보분석은 주로 항공기에 의존한 영상자료였으나 이후에는 인공위성의 특성을 이용한 영상자료의 획득으로 접근 불가능한 다양한 지역을 관측하고 광범위한 지역에 대한 자료를 빠르고 용이하게 획득하여 효율적인 활용을 가능하도록 만들었다. 위성영상자료 분석기술의 발전과 첨단의 인공위성 개발기술들이 위성수요 증가에 맞추어 지속적인 진보를 하였고 영상정보 사용자의 요구에 부합하는 탑재체의 개발을 가속화시키는 계기가 되어 현재에 이르고 있다.

그러나 위성에 탑재한 광학탑재체는 수동형센서로 태양광이 없는 야간이나 구름이 많거나 악천후 기상상황에서는 원하는 영상정보의 획득이 불가능하였다. 이런 상황에서 광학영상의 한계성을 극복하기 위하여 수동형 센서가 아닌 능동형 센서에 대한 관심이 증폭되었으며, 레이더를 이용하여 진보된 영상레이더(Imaging Radar)의 기술이 한 분야로 자리잡게 되었다.

마이크로파가 다양한 물체에 반사되어 특정정보를 전달한다는 H.R. Hertz의 발견 사실을 기초로 하여 초창기 레이더가 개발되었다. 레이더(RADAR)란 RAdio Detection And Ranging의 약어로 전자기파 중 마이크로파나 라디오파 등의 주파수대역을 이용하여 물체를 탐지하고 거리를 측정하는 능동형 시스템이다. 그래서, 능동시스템인 레이더는 사용자가 원하는 시간과 공간에서 특정 또는 불특정 대상물에 대한 위치, 움직임, 상태 등의 정보를 임의로 획득할 수 있다. 이런 레이더의 개발은 세계 2차 대전을 기점으로 전자기파에 대한 연구가 활발히 진행되면서 기반기술들의 비약적인 발전을 거듭하였다. 그 후 1951년 Goodyear Aircraft Corporation의 Carl Wiley에 의해 기본적인 레이더 개념을 확장한 차세대 기술로 최초 합성개구면레이더(SAR)의 개념이 개발되었으며, 1953년 일리노이드 대학에서 최초로 과학적인 실험이 수행되었고 이후에 U.S. Army의 지원아래에서 Michigan 대학의 주도로 합성개구면레이더기술에 대한 연구가 수행되었다.

최초의 합성개구면레이더 시스템은 X-band 시스템으로 미국방성 지원하에 개발이 되었으며 1960년대 이후 NASA 지원하에 민간 부문에 적용을 위한 합성개구면레이더 시스템 개발이 이루어졌다. 1970년대에서 1990년대 초반까지 CCRS Convair 580, JPL AirSAR 등의 실험적인 항공용 레이더의 개발을 기초로 최초의 합성개구면레이더 탑재 위성인 SEASAT이 1978년 발사되어 극지방의 얼음 및 지질 관련된 자료를 제공하였다. 그리고 SIR-A, SIR-B, SIR-C, ERS-1, ERS-2, ALMAZ, JERS-1, RADARSAT 등으로 기술발전을 이루었고 지금 이용되고 있는 현대적 개념의 고해상 영상레이더(High Resolution Imaging Radar)가 나타나게 되었다. 20세기에 들어서면서 위성영상자료 분석기술의 발전과 첨단의 인공위성 개발기술 또한 위성수요의 증가에 맞추어 지속적인 진보를 하였으며 영

상정보 사용자의 요구는 탑재체의 개발을 가속화시키는 계기가 되어 현재에 이르고 있다. 최근에는 상업용 C-band 영상레이더 위성에서 발전해서 고해상도 레이더영상을 획득할 수 있는 X-band 영역으로 기술발전이 완숙해지고 있다. 현재의 위성개발은 X-band를 사용하는 독일의 SAR-Lupe를 OHB-System에서 개발을 맡고 있으며 5개의 위성이 constellation을 이루어 운영하도록 설계되어 있다. 또한 TerraSAR 역시 독일 ASTRIUM사가 개발을 맡고 있으며 X-band를 사용하는 상업용 영상레이더 위성으로 개발 중에 있다. 이탈리아 정부의 지원을 받아 개발중인 Cosmo SkyMed 역시 X-band를 사용하는 영상레이더 위성으로 4개의 위성이 constellation을 이루어 운영될 계획이다. 이스라엘은 IAI사가 X-band를 사용하는 TecSAR를 개발 중에 있으며, 러시아도 Condor라는 명칭의 영상레이더 위성을 개발하고 있다.

2. 레이더(Radar)

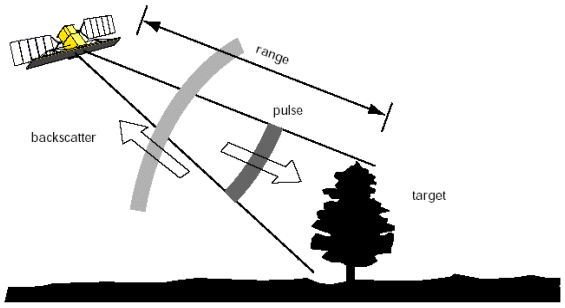


그림 1. SAR 탑재위성의 신호획득[1]

레이더는 대상물의 영상을 직접적으로 획득하는 탑재체는 아니다. 레이더는 방사한 신호가 반사되어 돌아오는 것을 획득하여 어떤 대상물이 레이더의 시선(Line of site) 방향으로 어느정도 거리에 있으며 어느 방향에 있는지에 대한 반사신호의 세기를 기록하는 장치이다.

위성에 탑재하여 주로 지구관측에 이용되는 탑재체는 크게 두 종류로 구분되며, 그것은 수동형 센서와 능동형 센서로 구분된다. 일반적으로 위성영상은 수동형인 광학센서에 의한 영상이 주류를 이루고 있으며, 레이더는 능동형으로 센서자체에서 방사되는 전자기파에 대한 대상물의 응답을 획득함으로써 주변에서 방사되는 여타의 정보와 무관하게 센서에서 방사되어 반사된 특정신호에만 반응을 할 수 있다. 그러나 광학영상은 인간이 인지할 수 있는 형태로 신호를 획득하지만, 레이더영상은 레이더의 방사신호가 물체에 반사된 신호를 수집하였기 때문에 인간이 직접적으로 인지할 수 없으며, 이를 인지 가능한 광학영상 형태로 구성하기 위해서는 복잡한 후처리(Post-processing)과정을 거쳐야 한다.

능동형 센서인 합성개구면레이더는 1~30GHz 범위의 전자기파를 사용하고 있으며 각 주파수의 특성에 따라 대상물이 다양하게 반응하는 양상을 레이더영상으로 획득할 수 있는 장점을 가지고 있다.

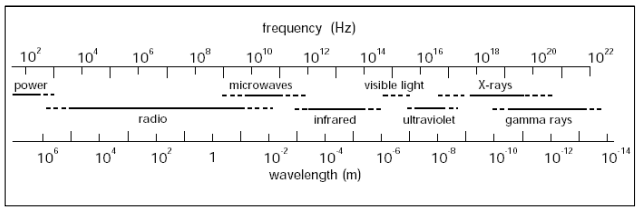
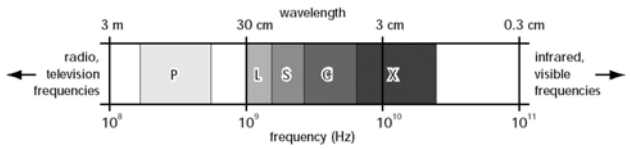


그림 2. 주파수대역별 전자기파(1)

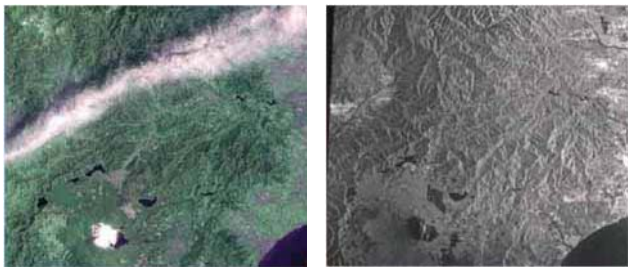
일반적으로 합성개구면레이더에 사용되는 1~30GHz의 주파수범위를 마이크로파(microwave) 대역이라 부른다. 이 대역은 그림 3.에 나타나듯이 주파수가 증가함에 따라 P-band, L-band, S-band, C-band, X-band, Ku-band, K-band, Ka-band 로 분류되며 역시 주파수가 증가할수록 마이크로파에 의한 물리적인 분해능도 향상된다. 물체의 분해능이 향상된다는 뜻은 모든 조건이 동일할 때 주파수가 높은 마이크로파를 사용하면 레이더영상의 해상력이 증가한다는 의미가 된다.



Microwaves	Frequency	Wavelength
P-band	0.3 ~ 1.0GHz	30 ~ 100cm
L-band	1.0 ~ 2.0GHz	15 ~ 30cm
S-band	2.0 ~ 4.0GHz	7.5 ~ 15cm
C-band	4.0 ~ 8.0GHz	3.8 ~ 7.5cm
X-band	8.0 ~ 12.5GHz	2.4 ~ 3.8cm
Ku-band	12.5 ~18.0GHz	1.7 ~ 2.4cm
K-band	18.0 ~ 26.5GHz	1.1 ~ 1.7cm
Ka-band	26.5 ~ 40.0GHz	0.75 ~ 1.1cm

그림 3. 마이크로파(Micro-Wave) 분류(1)

영상레이더의 최대 이점은 태양광이 없는 야간시간대나 구름이 많거나 악천후 기상상황에서도 지속적인 영상정보의 획득이 가능하다는 것이다. 그러나 마이크로파의 주파수가 높아짐에 따라 자유공간 손실과 강우감쇠가 증가되어 영상정보의 품질이 저하될 수 있는 우려도 있다. 상기의 문제들이 존재한다 할지라도 광학영상정보의 획득성보다는 레이더영상정보의 획득성이 시간과 공간에 대한 제약이 적다는 것은 사실이며, 시/공간에 대한 지속적인 획득성의 유지는 차세대 위성탑재체로서의 큰 의미를 가진다. 향후의 위성영상정보 활용은 한 종류 탑재체의 독립적인 정보에 의존하지 않을 것이며 다양한 탑재체 특성을 종합한 상호보완적인 관계에서 총체적인 위성영상정보로의 이용을 의미할 것이다.



(a) 광학영상 (b) 레이더영상

그림 4. 구름을 투과하여 획득한 레이더영상

2.1 실개구면레이더(RAR)

불특정 또는 특정 대상물의 단순한 탐지를 목적으로 이용되었던 과거의 군사적인 레이더에서 발전하여 영상정보를 획득하기 위한 영상레이더 개발의 최대목표는 대상물에 대한 해상력(Resolution) 향상이었다. 일반적으로 레이더에서 방사되는 빔은 탐지 대상물에 반사되어 돌아오는 신호(Echo)를 획득하여 물체의 존재를 알려주게 된다. 상기의 과정에서 물체의 해상력은 단순히 “있다 또는 없다”의 존재 유무를 확인시켜 주는 것이 전부였다. 그러나 레이더의 활용이 커져감에 따라 영상획득으로 관심이 이동되었고, 그러기 위해서는 해상력의 향상은 필수불가결한 것이었다.

그림 5.에서처럼 레이더의 대상물 탐지는 물체가 레이더로부터 어느정도 거리에 어떤 방향에 위치하고 있는지를 구분하는 정도였다. 여기서 어느정도 거리에 존재하는지를 구분하기 위한 것이 거리해상도(Range Resolution)가 된다. 거리를 측정하기 위해서는 펄스신호를 보내어 반사되어 돌아오는 반사파의 신호시간차(Time Delay)를 이용해 측정한다.

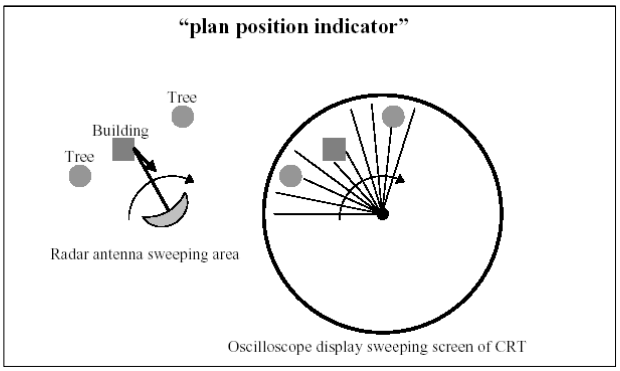


그림 5. Plan Position Indicator Radar

그런데 여러 대상물이 서로 인접하여 있을 경우에는 반사된 신호가 서로 혼재되어 구별할 수 없는 상황이 발생한다. 그러므로 레이더에서 방사하는 펄스를 점점 좁게 생성함으로써 거리해상도를 증가시킬 수 있게 된다. 그러나 물리적으로 많은 양의 좁은 펄스신호를 보내기 위해서는 전력사용이 증가하는 문제와 하드웨어적 구현의 문제가 발생하므로 좁은 펄스 대신 반사된 신호를 구별할 수 있는 변별 가능한 신호를 생성하는 방법이 고안되었다.

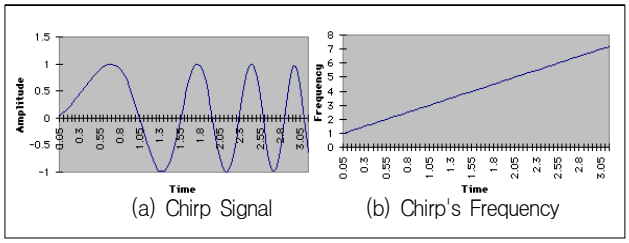


그림 6. Chirp Signal

상기에 언급한 방안이 그림 6.에 보이는 Chirp Signal의 사용이다. 즉 주파수를 선형적으로 증가시킨 신호를 펄스신호에 실어 보내 것이다. 이런 방식을 사용함으로써 좁은 펄스신호를 보내지 않고도 인접한 대상물 사이에 반사되어 돌아오는 신호를 변별하여 거리를 측정할 수 있게 된다. 물론 이런 방식에 추가하여 마이크로파의 주파수를 높게 함으로써 더욱 고해상력의 레이더영상을 획득할 수 있게 되는

것이다. 그러나 신호의 주파수를 계속적으로 높이게 되면 능동센서인 레이더의 이점인 전천후 관측의 기능이 저하되는 문제가 야기된다.

실개구면레이더는 Chirp signaling 기법으로 거리해상도를 향상시킴으로써 영상레이더의 이용에 대한 관심이 증가되었다. 레이더영상을 얻기 위해 안테나의 물리적인 길이를 방위해상도로 하고 Chirp Signaling 기법으로 거리해상도를 획득하는 시스템이 실개구면레이더로서 레이더 안테나를 장착한 비행체의 위치변화에 따른 위상보상 없이 합성하며 일반적으로 항공기 측면에 부착되어 운용되므로 그림 8.에서 보는 측면관측 항공레이더(SLAR: Side-Looking Airborne Radar)라고 불렸다. 그러나 여전히 방위해상도(Azimuth Resolution)는 레이더 안테나 길이에 의존해야 했으므로 물리적으로 긴 안테나를 비행체에 탑재할 수 없었기에 현재의 합성개구면레이더의 개발요구가 증폭되었다.

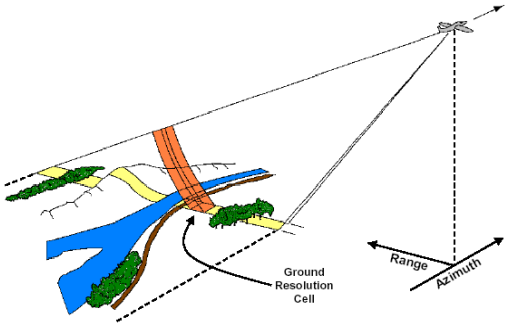


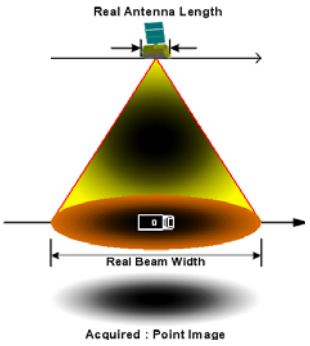
그림 7. Side-Looking Airborne Radar(SLAR)

2.2 합성개구면레이더(SAR)

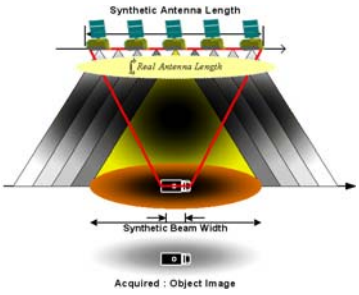
영상레이더는 실개구면레이더와 합성개구면레이더로 분류될 수 있다. 영상레이더의 해상도는 거리해상도(Range Resolution)와 방위해상도(Azimuth Resolution)로 구성되며 이는 광학영상의 2차원적 해상력과 동일한 의미를 가진다.

해상력 결정요인인 레이더 신호의 빔폭은 안테나의 길이에 반비례하므로 물체를 식별하기 위한 해상력 증대는 곧 안테나 길이의 증가를 의미한다. 그러나 안테나 길이의 증대는 사실상 물리적으로 제작하여 운용하는데 한계가 있어서 해상력을 높이기 위해 다른 방법을 강구할 수밖에 없었다. 여기에서 제기된 것이 합성개구면레이더이다.

그림 8.은 실개구면과 합성개구면레이더의 원리를 보여준다. 그림 8.의 (a)는 실개구면 레이더로 한 번 빔의 방사로 물체를 탐지하게 되므로 물리적으로 안테나 크기에 따른 빔의 폭으로 해상력이 결정되나, (b)의 합성개구면레이더는 물리적 안테나 크기에 의존하던 방위해상도를 레이더 안테나가 탑재되어 이동하는 비행체가 획득하는 여러 개의 신호를 합성함으로써 물리적으로 길어진 안테나와 동등한 효과를 얻어 방위해상도를 향상시킨 시스템이다. 방위해상도의 향상은 레이더를 탑재한 비행체가 이동하면서 신호를 방사하면 돌아오는 반사신호를 획득할 시점에 비행체의 위치변화가 생기게 되고 이는 도플러편이(Doppler Shift)로 나타난다.



(a) 실개구면레이더(RAR) 방위해상도



(b) 합성개구면레이더(SAR) 방위해상도

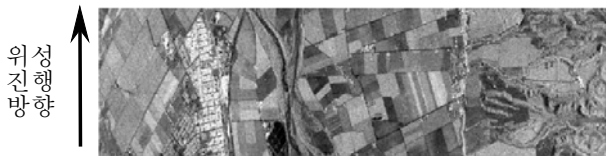
그림 8. RAR과 SAR의 방위해상도

합성개구면을 형성할 수 있는 것은 측정기준이 되는 레이더안테나의 이동에 의한 도플러 주파수의 상대적인 편이특성을 이용하여 후처리과정에서 대상물과 레이더 안테나 사이의 거리차에 대한 위상보상방법을 쓰거나, 비행체의 위상오차 허용범위내에 있는 신호를 더하여 획득한다. 이것이 물리적으로 작은 길이의 레이더 안테나를 이용해 측정 위치마다의 신호를 분석하여 안테나를 이론적으로 합성함으로써 합

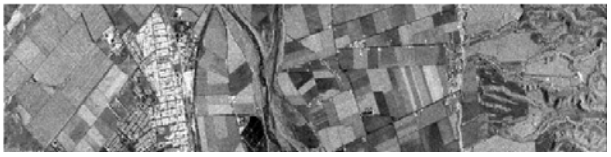
성개구면 레이더를 가능하게 하는 핵심원리이다. 그리고 이런 기법에 의해 항상 방위해상도를 고정적으로 유지할 수 있는 이점도 가지게 된다.

2.3 레이더영상(Radar Image)

레이더가 획득한 정보를 후처리한 레이더영상은 그림 9.에서 보듯이 광학영상 형태를 가지게 되지만 실제 지상해상도(Ground resolution)을 가지지 못하고 비행체의 진행방향과 수직인 경사거리(Slant Range)를 기준으로 하는 경사거리해상도(Slant-Range Resolution)로 표시된다. 그림 9.에서 (b)는 지상거리로 변경된 레이더영상으로 (a)에 있는 그림은 경사거리 방향으로 영상이 압축된 형태의 왜곡이 포함되어 있다.



(a) 경사거리 레이더영상(slant-range image)



(b) 지상거리 레이더영상(ground-range image)

그림 9. 경사거리영상과 지상거리영상의 비교

또한 레이더가 획득한 영상은 지상에 위치한 대상물을 어떤 각도로 보느냐에 따라 레이더영상이 달라진다.

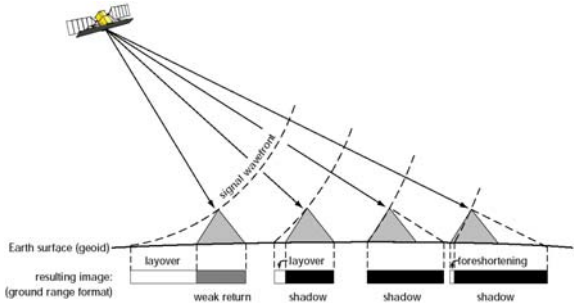


그림 10. 빔 입사각에 따른 레이더영상의 변화(1)

이는 그림 10.에 나타나 있는 것처럼 레이더의 시선방향에 따라 대상물의 뒤편이 완전히 가려지거나 부분적으로 가려지는 현상이 나타난다. 상기에 언급된 문제로 인해 탑재체로 사용하기 위해서는 대상물에 대한 입사각(Incidence Angle)을 고려하여 설계를 해야만 한다. 즉 산이나 높은 건물이 많은 지역의 영상을 위해서는 입사각을 위성의 직하방향을 기준으로 작은 입사각을 고려해야 하며, 해양이나 넓은 평야와 같은 지역에 대해서는 큰 입사각으로 설계해야 한다.

레이더영상에서 특이한 점은 영상획득을 위한 다양한 모드가 존재한다는 것이다. 일반적으로 광학영상은 단일 해상도와 관측폭을 가지는 영상을 제공하는 반면 영상레이더는 다양한 해상도와 관측폭을 가지는 레이더영상을 제공하는 이점이 있다. 대표적인 경우로 RadarSat의 경우 그림 11.과 같이 다중운영모드를 제공하고 있다.

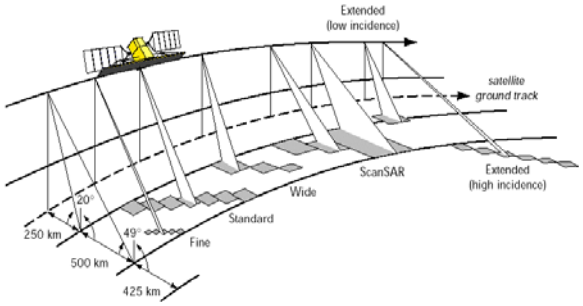
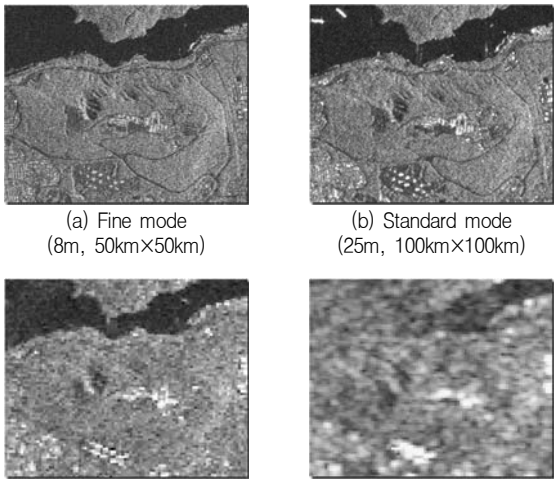


그림 11. SAR 탑재위성의 다중운영모드(RadarSat)(1)

광학영상은 단일 해상도와 관측폭을 유지할 수밖에 없기 때문에 고해상도 영상요구와 큰 관측폭 요구사항 모두를 만족시킬 수는 없다.



(a) Fine mode
(8m, 50km×50km)

(b) Standard mode
(25m, 100km×100km)

(c) ScanSAR Narrow mode
(50m, 300km×300km)

(d) ScanSAR Wide mode
(100m, 500km×500km)

그림 12. 다중모드 SAR위성의 레이더영상 해상도
(RadarSAT Multimode Radar Images)

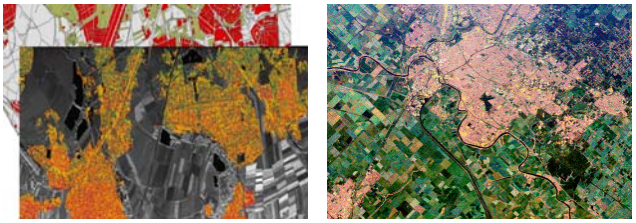
그러나 레이더영상의 경우 그림 13.에서 보는 것처럼 광학영상에 필적할 만한 고해상도 영상을 제공할 수 있으며, 그림 12.에 보이는 것과 같은 다양한 모드에 의한 광역관측이 가능한 넓은 관측폭의 레이더영상을 역시 제공할 수 있는 이점이 있다.

(a) 광학영상 (b) 레이더영상(SAR)

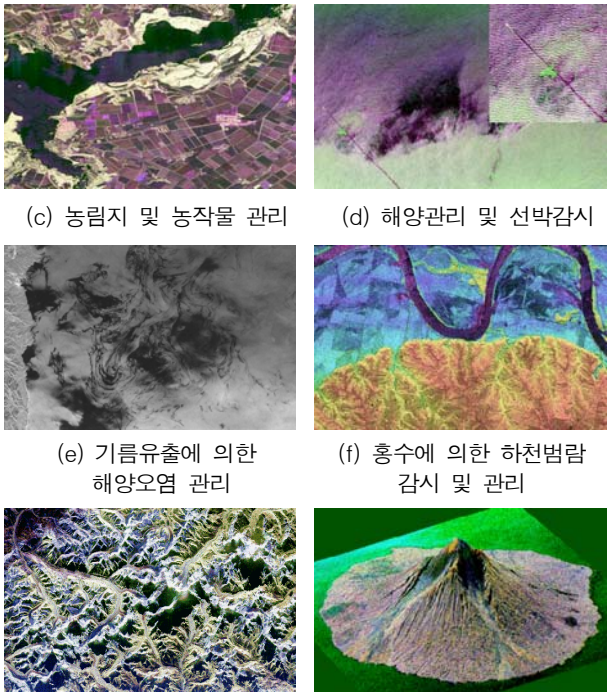
그림 13. 고해상 광학영상과 레이더영상 비교

2.4 레이더영상 활용

위성영상자료의 활용은 국토·도시계획분야, 수자원분야, 농업분야, 해양분야, 임업분야, 환경분야, 지도제작분야, 기상·기후분야, 지질자원분야 등에서 활발히 활용되고 있다. 정보의 활용에 대한 접근은 여러가지 방향이 존재하겠지만 특히 위성에 있어서 가장 유용한 접근방식은 거의 동일한 시간대에 광범위한 영역을 동시에 획득하는 방식으로 정보변화 추이를 효과적으로 분석할 수 있는 장점이 있다. 그러나 위성영상자료들도 각기 다른 특성을 가지고 있는데, 광학의 경우 태양광이 존재하는 시간대에만 영상정보를 획득할 수 있는 문제로 인해 정보의 활용이 제한될 수밖에 없다. 여기에서 영상레이더 위성처럼 태양광과 상관없이 위성영상정보를 획득할 수 있는 이점은 위성영상자료의 활용측면에서 매우 유익하며, 광학과 다른 정보를 제공하기 때문에 다양한 위성영상정보의 복합적 활용 기회를 활성화 시킬 수 있다.



(a) 수치지도와의 복합적 활용 (b) 도시 및 인근지역 관리



(c) 농림지 및 농작물 관리 (d) 해양관리 및 선박감시

(e) 기름유출에 의한 해양오염 관리 (f) 홍수에 의한 하천범람 감시 및 관리

(g) 자연환경 및 변화감시 (h) SAR DEM을 이용한 3차원영상 생성

그림 14. 레이더영상자료의 활용

그림 14.는 레이더영상을 이용한 다양한 분야의 활용을 보여준다. 위성영상의 활용분야는 여러가지가 있으며 현재에도 꾸준히 연구되어 개발되고 있지만, 활용적 측면을 크게 분류해 보면 국토자원에 대한 특성, 변화 등에 대한 체계적 분류가 가능하며, 국가적 재해상황에서 주/야간 시간대에 구애받지 않는 재해감시 및 관리와 다른 위성영상자료와의 상호보완적 자료활용분야로 구분할 수 있다.

3. 결론

NASA(National Aeronautics and Space Administration)는 최근 향후 10년 동안의 지구관측을 위한 수동형 또는 능동형 마이크로웨이브 원격탐사 기술계획을 수립하였다. 이는 미래의 위성을 통한 지구 원격탐사 또는 먼 우주로의 탐험에서 레이더 정보의 중요성을 언급하고 있는 것이다. 물론 국내의 위성개발도 드디어 합성개구면레이더를 탑재할 다목적실용위성 5호(KOMPSAT-5) 개발사업이 추진되고 있는바 차세대 위성기술로 거론되고 있는 영상레이더 탑재체에 대

한 깊이 있고 지속적인 연구가 향후 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. “RADARSAT Distance Learning Program (RDLP) Guide”, Canada, Geomatics International Inc.
2. “Active Microwave Remote Sensing”, The Aerospace Corporation, Crosslink, Vol. 5, No. 2, Summer 2004, pp.20-26

약어정리

CRS	Canada Centre for Remote Sensing
COSMO	COnstellation of small Satellites for Mediterranean basin Observation
DEM	Digital Elevation Model
ERS-1	Earth Remote Sensing satellite-1
ERS-2	Earth Remote Sensing satellite-2
JERS-1	Japanese Earth Resources Satellite-1
JPL	Jet Propulsion Laboratory
KOMPSAT-5	KOrea Multi-Purpose SATellite-5
NASA	National Aeronautics and Space Administration
RADAR	RAdio Detecting And Ranging
RAR	Real Aperture Radar
SAR	Synthetic Aperture Radar
SIR-A	Shuttle Imaging Radar-A
SIR-B	Shuttle Imaging Radar-B
SIR-C	Shuttle Imaging Radar-C
SLAR	Side-Looking Airborne Radar