

공간정보기술의 현황 및 전망 - 위성측지 및 원격탐사를 중심으로

The status and future of the geomatics - about satellite geodesy and remote sensing

안 철 호* Ahn, Chul Ho

요 旨

요즘 측량분야에서 Geomatics 또는 Geoinformatics라는 새로운 용어가 대두되고 있다. 해외의 우수 기관 및 대학교에서도 측량이라는 학과명 또는 기관명을 Geomatics라는 용어로 교체하고 있으며, 이는 측량분야의 다양화와 학제간 연구수행의 필요성을 반영하는 것이다. 최근 4S로 일컬어지는 GPS, 원격탐사(RS), GIS, ITS의 경우 각기 독자적인 영역을 구축하기 보다는 상호 보완적인 역할을 하며 통합되어 가는 추세이다.

1950년대에 기본적인 위성관측기술 및 계산 기술의 개발을 시작으로 1980년대에 이르러서는 위성 기술은 측지학 및 측량 분야에 적용되기 시작했다. 그 대표적인 것이 GPS(Global Positioning System)로 기존의 천체측정학 방식을 대체하는 유용한 위치결정 수단으로 사용되기 시작했다. DNSS로부터 시작된 GPS는 측지 측량분야, 지구물리학분야, 항법 및 교통, GIS Mapping, 기상 및 해양, 재난 및 레저, 인공위성 궤도결정 등 다양한 분야에 적용되었으며, 특히 2000년 5월 1일 SA가 해제되면서 그 활용도는 더욱 증가하고 있다.

위성원격탐사의 경우 초창기에 중·저해상도의 다중분광영상에서 시작하여 그 해상도가 꾸준히 향상되어 오늘날 0.61미터급 고해상도 위성인 QuickBird 위성이 발사되어 운용 중에 있다. 위성영상의 공간해상도, 분광해상도, 방사해상도는 향후 계속 향상될 것이며 이에 따른 방대한 데이터의 처리 문제 및 하드웨어/소프트웨어 지원에 대한 연구가 수반되어야 할 것이다.

GPS 및 원격탐사(RS)는 더 이상 독자적인 영역으로서가 아니라 Geomatics를 이루는 중요한 분야로서 타 시스템과의 보완적인 관계로서 통합되어 나갈 것이다. 이를 위해서는 공간정보에 대한 표준화 및 데이터 처리, 통합, 시스템 구축을 위한 기술적 연구가 계속 진행되어야 할 것이다.

1. 서론

요즘 측량분야에서 Geomatics 또는 Geoinformatic이라는 새로운 용어가 대두되어 사용되고 있다. 이것은 지금까지의 지식(학문)으로서는 새로운 전문영역을 포용할 수 없기 때문이라고 생각된다. 다시 말하면, 새로운 기술, 즉 각종 정보기술과 우주산업기술, 멀티미디어 기술 등 첨단과학 기술의 지식과 활용 없이는 측량이라는 소기의 본분 즉, 목적을 달성할 수 없기 때문이다.

이러한 추세를 반영하듯 4S로 일컬어지는 GPS, 원격탐사(RS), GIS, ITS의 경우 각기 독자적인 영역을 구축하기 보다는 상호 보완적인 역할을 하며 통합되어 가는 추세이다. 해외의 우수 기관 및 대학교에서도 측량이라는 학과명 또는 기관명을 Geomatics라는 새로운 용어로 교체하고 있으며, 이러한 현상은 단순한 용어의 교체에서 나아가 측량분야의 다양화와 학제간 연구 수행의 필요성을 반영하는 것이다.

여기서는 초기 측위시스템으로 개발된 이래 최근 광범위한 분야에 적용됨으로써 주목을 받고 있는 GPS와 광범위한 지역에 대한 효과적인 지구관측 및 지도제작을 수행하는 원격탐사(RS)에 대한 개괄을 함으로써 현재의 현황을 파악하고 향후 전망에 대해 논하고자 한다.

* 서울대학교 명예교수 · 공학박사 · 02-3487-0011(E-mail:panasia@chollian.net)

2. 위성측지

1950년대에 기본적인 위성관측기술 및 계산 기술의 개발을 시작으로 1980년대에 이르러서 위성 기술은 측지학 및 측량 분야에 적용되기 시작했다. 그 대표적인 것이 GPS로 기존의 천체측정학 방식을 대체하는 유용한 위치결정 수단으로 사용되었다.

GPS가 개발되기 이전에 그 시초라 할 수 있는 항법시스템들이 존재했었는데, NNSS(Transit System)와 DNSS(Defense Navigation Satellite System)가 그러한 시스템이다. NNSS는 1950년대 후반에서 1960년대 초기 미 해군에서 개발한 것으로 측위 및 군함 항해체계 마련을 위한 것이었다. 그 뒤 1973년에는 미 국방부에서 DNSS를 개발해 1977년에 가동하였으며 이를 통해 위성을 이용한 항법이론의 타당성이 입증되었다.

DNSS는 그 후 NAVSTAR(Navigation System with Timing and Ranging) GPS(Global Positioning System)로 발전하였으며 1984년부터 일반인에게 공개되었다. 러시아에서도 독자적인 항법시스템인 GLONASS가 개발되어 운행되고 있으며, 일본(MSAS), 유럽(Galileo Project)도 개발을 진행하고 있다.

2.1 GPS

GPS의 주된 목적은 3차원 절대위치측정이다. 측위 방식을 크게 두 가지로 구분하자면 별도의 오차 보정 처리 작업을 하지 않는 단독측위 방식과 기준국 데이터를 사용한 후처리, 무선통신망을 이용한 실시간 오차 보정 등의 작업을 시행하는 상대측위 방식으로 나눌 수 있다.

단독측위 방식은 2000년 5월 SA(Selective availability)가 해제되기 이전까지 많게는 100m 이상의 위치측정 오차를 포함하고 있었으나, SA가 해제된 이후에는 15m(95% 신뢰구간) 정도의 측정정밀도를 제공하고 있다.

상대측위 방식은 정밀측지측량 부분을 예로 들면 표 1과 같은 측정 정밀도의 향상이 있었으며, 이와 같은 수치들은 GAMIT, GIPSY와 같은 전문 소프트웨어를 사용할 경우 현재 정밀도 0.001ppm 다시 말하면, 10,000km의 거리를 1cm의 오차범위의 정밀도로 측정할 수 있음을 의미하고 있다.

표 1. 수평정밀도의 향상과 한계 오차원

년도	b(ppm)	주요 한계 오차원
- 1983	1	이온층 굴절, 궤도력의 정확도
- 1986	0.1	궤도력의 정확도
- 1989	0.01	궤도력의 정확도
- 1992	0.001	기준좌표계의 정확도, 수신기 고유의 오차
$\sigma_{\text{수평}}^2 (\text{mm}^2) = (0.1 - 1.0 \text{ mm})^2 + [(2 \times b) \times s_{ij} (\text{km})]^2$ <p style="text-align: center;">s_{ij} 는 i지점과 j지점 사이의 거리</p>		

상용프로그램과 Trimble, Leica, Ashtech, Novatel 등의 회사에서 제공하는 상용 GPS 수신기를 사용할 경우의 측정 정밀도는 대략 5mm + 1ppm 정도이다.

2.2 GPS의 활용

현재 GPS는 정밀측량분야, 지구물리학분야, 항법 및 교통, GIS Mapping, 기상 및 해양, 재난 및 레저, 인공위성 궤도결정 등 매우 방대한 분야에 적용되고 있다.

항법분야를 살펴보면, 휴대용 GPS 수신기를 비롯하여 전자지도와 GPS를 결합한 CNS(Car Navigation System), 전자지도와 GPS 그리고, 무선통신장치를 결합한AVL(Automatic Vehicle Location), 모바일 GIS 단말기 등에 사용되고 있으며, 주로 GIS와 연계하여 사용자로 하여금 실시간으로 현재 자신의 위치를 기준으로 하여 GIS 정보를 활용할 수 있게 하는 기능을 제공하고 있다. 특히, CNS의 경우 국내에서도 중형차량을 중심으로 장착되고 있으며, 차량의 위치를 추적·관리하는 AVL(Automatic Vehicle Location)도 물류관리 및 응급분야에서 그 중요성이 증가하고 있다.

정밀측량분야를 살펴보면, 1000km 이상의 대륙간 기선측정, 지각변동량의 계산, 저궤도위성의 궤도 계산, 대륙층지연오차량의 계산을 통한 1시간 이내의 준실시간(near realtime) 기상예보시스템 등에 활용되고 있으며, 기존의 측량기준점을 대체하는 전자기준점으로도 활용되고 있다. 또한, 재난 및 레저 분야의 경우는 여행, 탐사, 골프, 미아찾기 등에 적용되고 있다.

이 외에 다른 측량시스템과의 연동을 통한사용이 활발해 지고 있으며, 관성측량시스템(INS)과 CCD 카메라, 실시간 이동측위 방식의 GPS가 결합된 GPS Van을 이용한 도로 시설물 측량 및 데이터베이스 구축 분야, 항공기에 관성측량기와 함께 GPS를 장착하여 사진측량시 지상기준점의 수를 줄여주는 항공 GPS(Aerial GPS) 분야 등이 있다.

3. 원격탐사

3.1 위성 원격탐사의 역사

위성을 이용한 원격탐사는 로켓을 이용한 원격탐사로부터 비롯되었다고 할 수 있다. 1946년, New Mexico 주 White Sands에서 2차 세계대전 중 독일로부터 획득한 V2 로켓에 카메라를 탑재하여 발사한 후, 로켓이 지상으로 내려올 때 사진을 촬영한 바가 있다.

1957년에는 구소련에 의해 세계 최초의 인공위성인 스푸트닉 호가 발사되었다. 이에 자극을 받은 미국은 다음해인 1958년에 소련 지역의 사진 촬영 목적으로 미국 최초의 정찰 위성인 코로나(CORONA) 위성을 발사하였다. CORONA 위성은 단사진 카메라 또는 파노라마 카메라가 탑재되어 흑백 입체영상을 필름에 촬영하는 방식이었으며 촬영된 필름은 지구로 낙하산을 이용하여 투하되는 방식이었다. 실제적인 코로나 위성의 임무는 1960년부터 시작하여 1972년까지 800,000 여 장의 사진을 취득하고 종료되었다.

구소련 역시 적국의 정찰을 위해 COSMOS 위성과 같은 첩보위성을 운영하였으며 역시 디지털 센서가 아닌 필름에 사진을 촬영하여 지상으로 낙하시키는 방식이었다. 이렇듯, 초기의 위성 원격탐사 기술은 주로 군사적인 목적으로 사용되었다. 그 후 미국에서 Landsat, 프랑스에서 SPOT 등 민간용 원격탐사 위성 발사계획을 추진하면서 민간부문에서도 본격적인 위성원격탐사의 시대가 열리게 되었다.

3.2 현재 운영중인 지구관측 위성

1972년 7월 23일에 발사된 미국의 Landsat 1을 시작으로 민간부분에서 본격적인 원격탐사가 시작되었다. Landsat 위성은 현재 7호까지 발사되었으며 이 중 실제로 영상취득을 하는 것은 5호와 7호이다. Landsat 위성은 다중분광센서를 탑재하였으며 현재까지 방대한 양의 영상을 취득하여 변화탐지와 같은 시계열분석에 매우 유용한 자료를 제공한다.

Landsat 위성이 70~80년대의 원격탐사를 주도해 오는 과정에서 프랑스는 1986년 SPOT-1 위성을 발사하였다. SPOT은 경사관측능력으로 스테레오 영상 취득이 가능하였으며 해상도는 전정색 10미터, 다중분광 20미터로서 Landsat 보다 향상된 것이었다. 현재까지 SPOT 위성은 4호기까지 발사되었으며 운용중인 위성은 2호기와 4호기이다.

이 후 인도의 IRS, 일본의 JERS-1, 중국·브라질의 CBERS-1 등 중해상도의 위성이 지속적으로 개발·발사되었으며 국내에서도 우리별3호와 아리랑1호가 성공적으로 발사되어 현재 영상이 배포되고 있다.

원격탐사 위성 중에는 앞서 언급한 광학센서 외에 레이더 센서인 SAR를 탑재한 위성이 있는데 이러한 SAR 위성은 광학센서와는 특성이 상이한 영상을 취득하며, 궤청일이 아니라도 양질의 영상 취득이 가능하다는 장점이 있다. 대표적인 SAR 위성으로는 1995년 11월에 발사된 캐나다의 RADARSAT-1 위성, ESA(European Space Agency)의 ERS 위성, 일본의 JERS-1 위성 등이 있다. 캐나다에서는 2003년에 RADARSAT-2를 발사할 예정이며, 일본도 JERS-1의 후속 위성으로 ALOS를 2003년에 발사할 계획에 있다.

표2는 현재 운용중인 주요 지구관측위성을 나타내고 있다.

표 2. 주요 지구관측 위성

위성	밴드(μm)		공간해상력(m)	관측폭(km)	발사국 및 발사년도
Geosat	마이크로 웨이브 파장대		波高 2cm(0.02m)	※ 高度 800km	미국 해군 1985.3
Landsat5	다중분광	0.45 - 0.52	30	185	미국 1984.3
		0.52 - 0.60	30		
		0.63 - 0.69	30		
		0.76 - 0.90	30		
		1.55 - 1.75	30		
		10.40 - 12.50	120		
Landsat7	다중분광	0.45 - 0.515	30	183	미국 1999.4
		0.525 - 0.605	30		
		0.63 - 0.690	30		
		0.75 - 0.90	30		
		1.55 - 1.75	30		
		10.40 - 12.5	60		
	전정색	2.09 - 2.35	30		
SPOT-2,4	다중분광	0.50 - 0.59(2,4호)	다중분광: 20 전정색: 10	60(센서 1개) 117(센서 2개)	프랑스 2호:1990.1 4호:1998.3
		0.61 - 0.68(2,4호)			
	0.79 - 0.89(2,4호)				
전정색	2호:0.51 - 0.73	18.3×24.2	75	일본 1992.2 (1998년 작동중지)	
	4호:0.61 - 0.68				
JERS-1	다중분광	0.55 - 0.60	18.3×24.2	75	일본 1992.2 (1998년 작동중지)
	SAR	L 밴드			
Radarsat-1	SAR	C 밴드	관측모드에 따라 8~100	관측모드에 따라 50~500	캐나다 1995.11
IRS-1C/D (Pan 센서)	전정색	0.50 - 0.75	5.8	70	인도 1995.12/1997.9
CBERS-1 (CCD 센서)	다중분광	0.51 - 0.73 0.45 - 0.52 0.52 - 0.59 0.63 - 0.69 0.77 - 0.89	20	113	중국·브라질 1999.10
Terra (ASTER 센서)	VNIR	0.52 - 0.60 0.63 - 0.69 0.76 - 0.86	15	60	1999.12
	SWIR	6개 밴드	30		
	TIR	5개 밴드	90		
아리랑1 (EOC)	전정색	0.51 - 0.73	6.6	17	한국 1999.12

3.3 고해상도 위성의 발사

센서 개발 기술이 향상되면서 최근에는 민간시장을 겨냥한 고해상도 상업용 위성의 개발·발사가 활발히 이루어지고 있다. 1999년 4월 27일 미국 Space Imaging사에서 최초의 1미터급의 고해상도 위성인 IKONOS 위성을 발사함으로써 본격적인 고해상도 위성영상 시장을 열었다. 이어서 2000년 12월 5일에는 이스라엘에서 1.8미터 해상도의 EROS A1 위성 발사에 성공하였으며, 국내의 항공우주연구소에서도 1미터 해상도의 아리랑 2호 발사를 계획 중에 있다. 2001년 10월 18일에는 0.61m 해상도의 QuickBird(미국)가 발사에 성공하여 운영중에 있다.

이러한 고해상도 위성의 상용화의 배경으로는 미국과 러시아에서 예전에 군사목적으로 사용하던 고해상도의 첩보위성영상을 공개한 것과 민간 시장에서 고해상도 영상의 상업적 이용에 대한 규제가 완화된 것을 들 수 있다.

1994년 초 미국 정부는 미국 내 우주개발 산업체를 위한 정책의 일환으로 1 미터 수준의 위성 영상에 대한 국제적인 사업화를 승인한 바 있으며, 미국의 CORONA 첩보위성 영상이 1995년 2월에 민간에게 공개되었다. 또한 러시아의 경우 COSMOS 위성의 KVR-1000, TK-350 카메라 사진이 상업용 시장에 공개되었으며 기타 여러 첩보위성들의 사진이 디지털화되어 민간 시장에 공급되고 있다.

표 3. 고해상도 위성

위성	밴드(μm)		공간해상력(m)	관측폭(km)	발사국 및 발사년도
	전정색	다중분광			
IKONOS	전정색	0.45 - 0.90	전정색: 1 다중분광: 4	11 - 13	미국 1999.9
	다중분광	0.45 - 0.52 0.52 - 0.60 0.63 - 0.69 0.76 - 0.90			
EROS A1	전정색	0.50 - 0.90	1.8	12.5	이스라엘 2000.12
EO-1	하이퍼분광	220개 파장대 (0.4 - 2.5)	30	영상당 7.5km×100km면적 촬영가능	미국 2000.11
Orbview-3	전정색	0.45 - 0.90	전정색: 1 다중분광: 4	8	미국 2002년 예정
	다중분광	0.45 - 0.52 0.52 - 0.60 0.63 - 0.69 0.76 - 0.90			
SPOT-5	다중분광	0.50 - 0.59 0.61 - 0.68 0.79 - 0.89	10	60(센서 1개) 117(센서 2개)	프랑스 2002.5.4 예정
		1.58 - 1.75	20		
	전정색	0.61 - 0.68	5, 2.5(supermode)		
Quickbird-2	전정색	0.45 - 0.90	전정색: 0.61 다중분광: 2.50	Stereo: 15x15	미국 2001.10
	다중분광	0.45 - 0.52 0.52 - 0.60 0.63 - 0.69 0.76 - 0.89			
ALOS	전정색	0.52 - 0.77	전정색: 2.5 다중분광: 10	전정색: 35 다중분광: 70	일본 2004년 예정
	다중분광	0.42 - 0.50 0.52 - 0.60 0.61 - 0.69 0.76 - 0.89			
아리랑 2	전정색	0.50 - 0.71	전정색: 1 다중분광: 4	15	한국 2004년 예정
	다중분광	0.40 - 0.90 영역 내 4 밴드			

최근의 위성개발 추세를 보면 공간해상도 뿐만 아니라 분광해상도 역시 향상되고 있다. 수 백 개의 밴드를 가지면서 공간해상력은 기존의 다중분광센서의 해상력 수준을 유지하는 센서(hyperspectral 센서)를 탑재한 원격탐사 위성이 개발되고 있으며, 2000년 11월 21일에는 기존의 Landsat TM의 공간해상력을 지니면서 hyperspectral 영상을 제공하는 EO-1 위성을 미국에서 발사하였다.

hyperspectral 영상의 등장은 방대한 데이터를 이용한 영상처리의 문제를 부각시켰으며, 기존의 중·저해상도의 다중분광영상에 사용되던 기법은 적용이 어렵게 되었다. 따라서, 방대한 밴드를 가진 hyperspectral 영상의 처리 기법에 대한 연구가 학계에서 수행되고 있으며 그 방향은 크게 데이터 reduction 및 분류 알고리즘에 대한 연구로 진행되고 있다.

표3은 현재 운용중이거나 발사예정인 고해상도 센서 탑재 위성을 나타내고 있다.

4. 향후 전망

위성항법시스템인 GPS는 그 동안 다양한 분야에서 연구·적용되어 왔으며 특히 2000년 5월 1일 SA의 해제 이후에 그 관심이 증폭되고 있다. 미국은 1996년 대통령의 발표를 통해 SPS(Standard Positioning Service)의 계속적인 무료이용 등을 약속하였으며, 미 교통부(Department of Transportation)는 GPS의 기본적인 기능에 교통분야에서의 활용을 위한 기능을 추가하는 것에 대해 언급하였다. 이러한 미국의 정책과 세계적인 동향을 살펴볼 때 예상되는 GPS의 향후 발전 방향은 다음과 같다.

첫째, 아직 불확실한 요소는 많으나 SPS의 계속적인 무료사용이 예상된다.

둘째, 차세대 GPS 위성이며 민간 사용자를 위한 전파인 L5밴드가 추가될 위성인 Block IIF 위성의 발사이다. 새로운 전파가 사용될 경우 민간 사용자 부분에서의 GPS 측위 정밀도가 대폭 향상되어 교통분야의 활용 가능성이 증대될 것으로 예상된다.

셋째, 유럽을 중심으로 구축되고 있는 GNSS(Global Navigation Satellite System)과의 연계가 활성화 될 것으로 예상된다. GNSS란 GPS, GLONASS, INMARSAT-3, EGONOS, 유럽의 Galileo 프로젝트의 일환으로 개발될 위성들을 모두 이용하여 전 세계 민간사용자들에게 보다 정확한 항법시스템을 사용하게 하려는 계획이다. 미국은 GNSS를 적극적으로 지원하고 있으며, GNSS가 활성화 될 경우 보다 정확한 항법시스템의 사용이 가능해질 것이라 예상된다.

GPS 시장의 경우를 살펴보면, 미국에서는 차량항법, 측지측량, 항해, 비행 등의 분야에서 매년 그 수요가 증가하고 있다. 일본의 경우 CNS(Car Navigation System) 보급대수가 1993년 3월에 7,707대 이었던 것이 2000년 3월에는 5,352,386대로 폭발적으로 증가하였다. 국내에서도 현재 현대자동차에 CNS가 장착되고 있으며 매월 6,000여대의 차량에 장착되고 있다. 또한, 국산 휴대용 GPS 수신기가 개발되어 차량항법, 건설, 통신, 환경, 레저분야 등에 사용이 되고 있다.

측위 및 시각측정 목적으로 개발되었던 GPS는 이제 GIS 데이터 취득뿐만 아니라 최근 주목받고 있는 위치기반시스템(LBS, Location Based System)에서 위치추정기술로서 중요한 부분을 차지하고 있으며, 향후 GIS 및 위치기반시스템의 확충과 더불어 그 수요가 급증할 것이다.

원격탐사의 경우 초창기에는 다중분광영상을 이용한 분류, 분석이 주를 이루었으나 최근 고해상도 위성영상이 발사되면서 수치사진측량 이론을 적용한 지도제작까지 그 활용범위가 넓어지게 되었다. 현재 상용화된

어 있는 고해상도 위성으로는 0.61미터급의 QuickBird가 최고의 해상도를 자랑하고 있으며, 향후에도 계속 위성영상의 공간해상력은 향상될 것이다. 또한, 분광해상도 및 방사해상도 역시 계속 향상되는 추세에 있으며 이에 따른 데이터 처리 기법에 대한 연구 및 하드웨어 지원이 필수적이다. 또한, 위성개발과 더불어 취득된 위성영상의 처리 소프트웨어 개발 및 지원 문제에 대한 연구도 충분히 이루어져야 할 것이다.

공간해상도의 향상은 위성영상의 지도제작이라는 응용분야에 큰 파급효과를 불러일으킬 것이다. 위성영상은 안정적인 비행궤적, 비접근지역에 대한 영상취득 용이성 등 항공사진에 대한 장점이 있었으나 해상도의 한계에 직면해 그 활용도가 떨어졌었다. 하지만 향후 고해상도 영상의 공급이 활성화된다면 이에 대한 연구 및 적용이 활발히 진행될 것으로 예상된다. 또한, hyperspectral 센서 탑재 위성 발사도 앞으로 활발히 진행될 것이며 이러한 hyperspectral 위성 영상은 지질학, 광물학, 토지피복도 작성 등에서 유용한 자료로 사용될 것이다.

마지막으로, GPS 및 원격탐사(RS)는 더 이상 독자적인 영역으로서가 아니라 공간정보를 이루는 중요한 분야로서 타 시스템과의 보완적인 관계로서 통합되어 나갈 것이다. 이를 위해서는 공간정보에 대한 표준화 및 데이터 처리, 통합, 시스템 구축을 위한 기술적 연구가 계속 진행되어야 할 것이다.