

초고해상도 지구관측 카메라 기술동향

글 / 장 홍 술 hsjang@kari.re.kr

한국항공우주연구원 위성운영센터 위성응용그룹

1. 서론

지표면의 물체를 관측하기 위한 고해상도 위성 탑재카메라는 개발역사가 길지는 않지만 냉전시대에 구소련과 미국 사이의 첨단 첩보전의 도구로 이용되기 시작하면서 눈부신 발전을 하게 되었다. 미국이 항공기를 이용해 구소련의 영공을 비행하면서 주요 군사시설을 정찰하여 외교적 문제가 된 후, 정찰용 고해상도 위성관측 카메라의 필요성이 대두되어 수많은 첩보위성이 개발되었고 현재도 세계도처를 정찰하고 있다.

1990년대 후반부터는 미국을 위시한 기술 선진국들이 군사 및 안보 기술로 분류하였던 해상도 1m급 기술을 상용으로 개발하기 시작하면서 상용 고해상도 관측 카메라 개발 경쟁이 가속화 되었다. 표 1과 같이 미국을 선두로 한국, 이스라엘, 프랑스 등이 상업용 영상촬영을 목적으로 위성을 개발하였거나 개발이 진행 중인데, 특히 미국의 IKONOS와 QuickBird 위성은 현재 운용 중이며 대표적인 고해상도 카메라 탑재 위성이다.

표 1 초고해상도 카메라 탑재 위성 개발현황

위성	국가	발사년도	해상도
QuickBird 1	미국	실패	1m(흑백), 4m(칼라)
QuickBird 2	미국	2001	0.6m(흑백), 2.4m(칼라)
IKONOS 1	미국	실패	1m(흑백), 4m(칼라)
IKONOS 2	미국	1999	1m(흑백), 4m(칼라)
Orbview 4	미국	실패	1m(흑백), 8m(다중분광)
KOMPSAT	한국	2004	1m(흑백), 4m(칼라)
EROS B1	이스라엘	2003	0.87m(흑백), 3.5m(칼라)
EROS A1	이스라엘	2002	1.8m(흑백)
EROS A	이스라엘	실패	1.8m(흑백)
SPOT 5	프랑스	2002	2.5m(흑백), 10m(칼라)
EarlyBird	미국	실패	3m(흑백), 15m(칼라)

이상과 같이 국제적인 개발경쟁 속에서 우리나라도 지속적인 연구개발을 추진하고 있는 바, 고해상도 관측 카메라의 대표적 예인 SPOT 시리즈와 1m급 고해상도 관측 카메라 시대를 연 IKONOS, QuickBird 및 기타 위성 카메라에 대해 기술적인 개발 동향을 파악하여 향후 우리나라의 초고해상도 위성 관측카메라 개발을 위한 기술적 방향 설정에 도움이 되고자 한다.

2. SPOT 시리즈

SPOT시리즈는 프랑스가 개발한 대표적인 상용 고해상도 관측 위성으로 1986년 발사된 SPOT1호에는 당시로서는 최고의 성능인 해상도 10m급 관측 카메라가 탑재되어 있었으며 이후 2002년 까지 단계적인 기술개발을 통해 총 5기의 SPOT시리즈가 발사되었는데 SPOT 1,2,3은 동일한 카메라를 탑재하였고 SPOT 4와 5는 성능이 향상된 카메라를 장착하였다.

SPOT은 표 2에 나타난 바와 같이 태양동기궤도(Sun-synchronous Orbit)를 822km 상공에서 궤도 경사각 98°로 돌며 지표면을 촬영하는데 대부분의 지표면 촬영 위성처럼 동일한 지역에 대해 동일한 시간에 동일한 태양복사 환경을 유지하면서 효과적으로 지표면을 촬영할 수 있는 궤도 형태이다.

표 2 SPOT의 주요 특성

	SPOT 5	SPOT 4	SPOT 1,2 and 3
발사일	May 2002	Mar. 1998	Feb. 1986 Jan. 1990 Sep. 1993
정규수명	5년	5년	3년
궤도종류	태양동기	태양동기	태양동기
고도	822km	822km	822km
궤도경사각	98.7°	98.7°	98.7°
자세제어	지구지향, Yaw 제어	지구지향	지구지향
궤도주기	101.4분	101.4분	101.4분

SPOT 1,2,3에는 그림 1과 같이 2대의 HRV(High Resolution Visible)가 장착되어있고 위성이 진행하면서 좌우로 $\pm 27^\circ$ 범위로 경사 촬영이 가능하다. 이러한 경사촬영은 특정 목표물에 대한 촬영주기를 조정할 수 있을 뿐 아니라 입체촬영 기능을 가능하게 하였다. 또한 각각의 카메라가 가지는 촬영폭이 60km 이므로 궤도당 최대 촬영폭은 120km 까지 가능하며 경사촬영을 할 경우 가능 범위는 950km 이다. 이러한 기본적인 촬영 방식은 탑재체가 개량된 SPOT 4 및 5에서도 동일하게 유지되고 있다. SPOT 4와 5에는 기본적인 HRV와 유사한 형태의 탑재체가 장착되어 있으나 관측 파장은 적외선 영역이 추가 되었다.

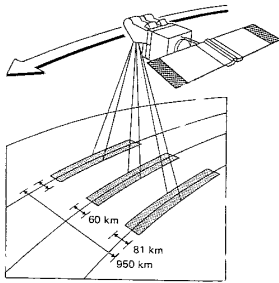


그림 1 SPOT의 촬영 폭

SPOT 4, 5에는 각각 2대의 HRVIR(High Resolution Visible-Infrared)과 HRG(High Resolution Geometric)가 탑재되어 있다. HRVIR과 HRG에는 단파장 적외선(Short Wave Infrared) 대역이 추가되어 있는데 이는 기상 조건에 의한 영상의 흐려짐을 보상하며 또한 광물질 함유 및 지표면 온도 감지에도 도움이 된다. HRG는 1/2화소(2.5m)가 엇갈린 2개의 선형 디텍터(Detector)를 이용해 2개의 5m 해상도가 지상의 영상처리를 통해 2.5m 해상도 영상을 만들어 낼 수 있게 한다. 각 카메라의 주요 특성은 표 3과 같다.

표 3 SPOT의 탑재카메라 주요 특성

	SPOT 5	SPOT 4	SPOT 1,2 and 3
카메라	2 HRGs	2 HRVIRs	2 HRVs
파장 대역 (μm)	Pan : 0.48~0.71	Pan : 0.61~0.68	Pan : 0.50~0.73
	MS1:0.50~0.59	MS1:0.50~0.59	MS1:0.50~0.59
	MS2:0.61~0.68	MS2:0.61~0.68	MS2:0.61~0.68
	MS3:0.78~0.89	MS3:0.78~0.89	MS3:0.78~0.89
해상도	SWIR :1.58~1.75	SWIR :1.58~1.75	
	Pan : 5 or 2.5m	Pan : 10m	Pan : 10m
	MS : 10m	MS, SWIR :20m	MS : 20m
촬영폭	SWIR : 20m		
	60km x 60km to 80km	60km x 60km to 80km	60km x 60km to 80km
재방문주기	1~4일	1~4일	1~4일

HRV의 광학적 구조는 그림 2와 같이 스캔미러(Scan Mirror)가 전반부에 배치된 반사-굴절 복합식 형태이며 초점면의 분광을 위해 그림 3과 같이 Dichroic 코팅이 적용된 광분할기를 사용한다.

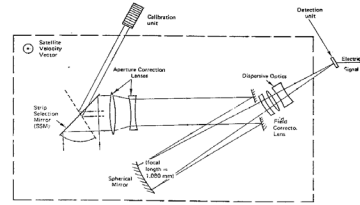


그림 2 HRV의 구조

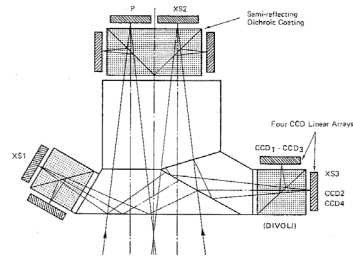


그림 3 HRV의 초점면 분광 구조

SPOT의 탑재카메라는 발사환경이나 궤도환경에서의 정렬 에러(Error)를 보상하기 위해 초점면 조정 기능을 가지고 있으며 최적의 초점면 위치를 설정하게 해준다.

3. IKONOS

그리스어로 영상(Image)을 뜻하는 IKONOS는 세계 최초의 1m 급 상용 고해상도 관측위성으로 1999년 9월에 발사되었다. 위성시스템은 Lockheed Martin사가 제작하였으며 카메라는 Eastman Kodak 사에 의해 제작되었다.

IKONOS 위성의 촬영궤도는 대부분의 고해상도 카메라 위성의 경우와 같이 태양동기 궤도이며 표 4와 같은 특성을 가진다.

표 4 IKONOS 위성의 주요 특성

발사일	Sep.1999
궤도종류	태양동기
고도	681km
궤도경사각	98.1°
궤도주기	98분
재방문주기	3일

카메라 시스템의 기본형태는 그림4에서처럼 초점면에 디텍터가 부착된 부분 차폐형 3반사경 형식

의 광학계이며 광로 접이용 반사경을 이용하여 광구조부의 길이를 1.5m 정도로 설계하여 위성체 내부의 2m 정도 공간에 카메라가 장착되도록 하였다.

구조적 경량화를 위해 주반사경의 경량화 비율을 85%까지 올렸으며 광구조부 전체의 무게가 108kg 정도이다. 또한 각 반사경의 표면은 Kodak사가 개발한 이온가공(ion figuring) 기술을 적용해 원자단위로 가공하였고 발사 및 궤도 환경에서의 반사경의 정렬 정밀도 유지와 열/구조적 안정성 강화를 위해 NASA의 Chandra X-Ray Observatory에 적용된 신기술을 구현했으며 조립과 접착에 의한 영향을 최소화 하기위해 특별한 치공구를 사용하였다.

초점면에 위치한 디텍터는 13,500개의 선형 CCD (Charge Coupled Device)를 가지는데 제작기술의 한계로 13,500 화소의 일체형 소자 대신에 그림 5에 서처럼 3개의 부분으로 나누어 제작된 CCD를 조립 정렬한다. 그림 5의 상하 방향으로 각 과장대역에 해당하는 CCD가 배치되고 CCD 배열의 길이 방향인 좌우 쪽은 촬영폭을 나타낸다. 초점면 디텍터의 바로 앞에 위치하는 광학 필터(Filter)는 85~90%의 우수한 투과율을 가지며 자외선과 적외선 영역의 에너지 차단 비율도 우수한데 각각의 필터를 동일한 유리판에 만들어 넣기 위해 300단계의 개별 공정이 포함된 특별한 코팅 기술이 적용되었으며 각각의 필터는 66층 이하로 총 두께가 4 μ m 이하이다. 초점면 전자부에 대한 촬영 궤도상에서의 정렬유지를 위해 온도를 68°F로 유지하며 히터(Heater)와 열분산용 장치에 의해 효과적으로 제어한다.



그림 4 IKONOS 위성 탑재카메라의 구조

IKONOS는 연직하 방향에서의 흑백 해상도는 0.82m 이고 칼라 해상도는 3.28m 이지만 26° 경

사 방향에서는 각각 1m 및 4m의 공간해상도를 가지며 해당지역의 위치에 따라 그리고 경사촬영 각도에 따라 3일 이하의 재방문 주기를 가진다. 그리고 위성체의 자세 제어를 이용해 진행방향의 전후 및 좌우로 경사촬영이 가능하다.

표 5 IKONOS 탑재카메라의 주요 특성

촬영방식/센서	푸쉬브room(Pushbroom)/선형CCD
과장대역(μ m)	Pan : 0.45~0.90 MS1 : 0.445~0.516 MS2 : 0.506~0.595 MS3 : 0.632~0.698 NIR : 0.757~0.853
해상도	Pan 1m, MS1~4 : 4m
촬영폭	11km*11km
시야각	0.93° cross track
Quantization	11bit
무게	108kg (Telescope)
전력	
가변지향각	$\pm 45^\circ$ (진행방향 및 좌우)
부피	~2m(길이)
광학계 유효구경	70cm
광학계형태	부분 차폐형 3반사경
초점거리	1000cm
디텍터 화소	13,500
전송속도	
TDI	적용

초당 수 기가비트(G-bit)에 달하는 영상 자료를 영상저하 없이 압축하여 지상으로 전송하기 위해 전력소모를 최소화 하면서 화소당 11비트(Bit)를 2.6비트로 압축하는 특별한 압축기술이 적용되었다.

촬영 영상의 품질을 나타내는 대표적 지수인 MTF (Modulation Transfer Function)와 SNR(Signal to Noise Ratio)은 표 6과 같다. MTF는 궤도상에서 지상의 특정 목표물을 촬영하여 측정된 값으로 흑백 과장대역은 실측한 값이며 나머지는 해석으로 유도된 값이다. SNR은 태양빛에 대해 최대 신호량 수준에서 측정된 값이다.

표 6 IKONOS 탑재체의 MTF 및 SNR 특성

관측밴드	SNR	MTF
Pan	88.9	0.17
MS1(Blue)	93.7	0.266
MS2(Green)	143.2	0.284
MS3(Red)	103.4	0.290
NIR	66.8	0.277

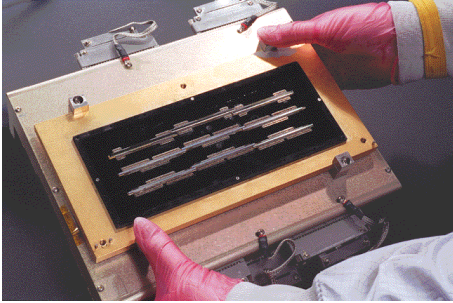


그림 5 IKONOS 탑재체의 초점면 디텍터 배열 형태

4. QuickBird

QuickBird는 현존하는 최고의 상용 고해상도 관측 위성으로 미국의 Ball Aerospace사에 의해 제작되었다. 현재 운용되고 있는 위성은 실패한 QuickBird 1호의 후속인 QuickBird 2호로 600km 고도에서의 해상도 1m용 시스템을 사용자의 요구에 따라 고도 450km, 해상도 0.6m 로 설계를 수정하였다. 위성체는 Ball Commercial Platform(BCP) 2000을 사용하였고 탑재카메라는 Ball High Resolution Camera(BHRC) 60을 장착하였다.

QuickBird의 BHRC 60카메라는 궤도(고도 400~900 km)에 따라 흑백(Pan) 과장대역에서 0.5~1.5m 정도의 공간 해상도를 구현하도록 설계되었으며 고해상도 카메라의 대표적 선형스캐닝 방식인 푸쉬브room(Pushbroom) 촬영 방법을 적용한다.

표 7 QuickBird 위성의 주요 특성

발사일	Oct. 2001
고도(km)	450
궤도종류	태양동기
위성체	BCP 2000
카메라	BHRC 60
궤도경사각	98°
궤도주기	93.4분

그림 6처럼 전체적인 구조는 선형 CCD 디텍터가 부착된 무차폐 3반사경식 광학계를 적용하였으며 광구조부는 3개의 반사경과 1개의 광로접이용 반사경 및 지지 구조물로 이루어진다. 각각의 반사경은 저열팽창 재료를 이용해 가공되었으며 카메라의 광학계를 지지하는 주 구조물은 그라파이트 복합재(Graphite Composite)로 만들어져 열구조적

안정성이 매우 높다. 태양광 차폐장치와 카메라 구경 덮개 부분이 추가되어 있어 불용광 처리와 촬영 전의 카메라 보호기능이 가능하며 덮개는 일회성으로 이용된다. 카메라를 위성체에 부착하거나 주 지지 구조물에 부분품을 부착할 경우 3점마운터(Three Point Mount) 방식으로 조립되어 높은 구조적 안정성을 보장한다. 카메라는 Multi-Layer Insulation(MLI)으로 포장되어 위성체로부터 열적으로 차단되고 궤도상에서는 히터가 작동한다. 구조 및 열적 변형을 최소화 하기위해 초점면 디텍터 소자 부분은 카메라에 접속시키고 나머지 초점면 전자 관련 부분은 위성체에 접속시킨다.

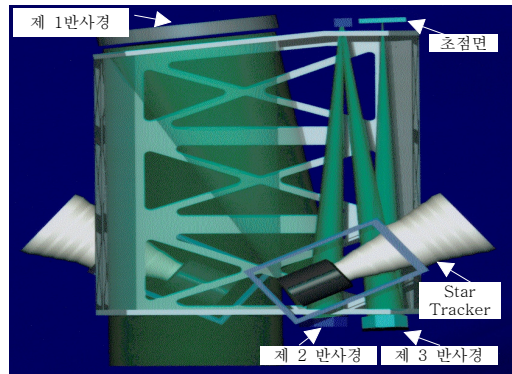


그림 6 BHRC 60 카메라의 구조

디텍터 부분은 빛을 전자 신호로 변화시켜 주는 부분으로 초점면 CCD 소자와 관련 전자부, 그리고 자료 처리부로 구성되는데 흑백 대역과 4개의 칼라 대역을 동시 촬영할 수 있다. 그림 7에서처럼 흑백 대역은 27,568개의 선형 화소로 구성되며 칼라 대역은 6,892개의 화소로 이루어지며 역시 일체형 선형 화소 제작의 어려움으로 인해 각각 6개의 부분으로 나누어져 있으며 카메라의 전자신호량 획득 효율을 높이기 위해 진행방향으로 가변적 Time-Delay-Integrate(TDI) 방식을 적용하였다. 초점면 전자부는 초점면 디텍터에서 생성된 아날로그 신호를 디지털형태로 변경하며 신호처리가 압축 후 저장장치(Solid State Recorder, SSR)로 보낼 수 있게 해준다. 자료 저장을 위해서 총 139 Gbits의 용량을 가지는 두개의 저장장치가 흑백 및 칼라 대역의 영상자료를 저장하거나 지상으로 전송 할 수 있게 하며 최고 320 Mbps의 속도로 X-band를 통해 8분 만에 영상자료를 실시간 전송 가능하게 한다.

표 8 BHRC 카메라의 주요 특성

촬영방식/센서	푸쉬브롬/선형CCD
과장대역(μm)	Pan : 0.45~0.90
	MS1 : 0.45~0.52
	MS2 : 0.52~0.60
	MS3 : 0.63~0.69 MS4 : 0.76~0.90
해상도	Pan 0.6m(1.37μrad) MS1~4 : 4m(5.47μrad)
촬영폭	16.5km*16.5km
시야각	±1.1° cross track
Quantization	11bit
무게	342 kg (전송부 포함)
전력	897 W (동시 촬영 및 전송)
가변지향각	±30°(진행방향 및 좌우)
부피	115*141*195cm
광학계 유효구경	60cm
광학계형태	무차폐 3반사경
초점거리	878±40cm
수명	5년
전송속도	320 Mbps X-band
TDI	적용

밝은 영상에 대한 보정(Calibration)은 카메라에 부착된 별도의 램프로 실시하며 어두운 영상신호에 대한 보정은 지구의 어두운 면을 촬영하여 수행한다. 보정용으로 촬영된 영상은 지상의 수신국에서 보정 계수를 선정하게 해준다. 시스템의 MTF 특성은 Pan에서 0.17 along track, 0.21 cross track @ Nyquist frequency 이고 MS에서는 0.25~0.45 정도가 예상된다.

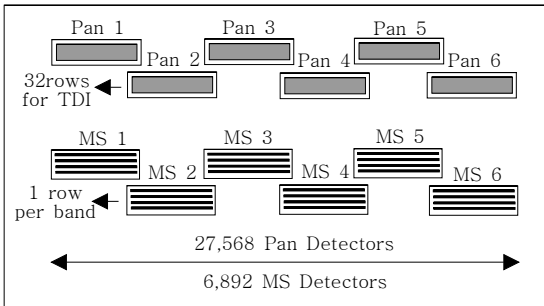


그림 7 BHRC 카메라의 초점면 디텍터 배열 형태

5. 기타 위성 탑재 카메라

기타의 고해상도 위성 카메라로는 이스라엘의

EROS 탑재카메라와 우리나라가 개발중인 다목적 2호 탑재카메라 및 러시아의 고해상도 위성카메라가 있다.

EROS 시리즈는 이스라엘이 개발한 대표적인 고해상도 위성탑재 카메라로 EROS-A의 실패 후 2001년 EROS-A1이 성공적으로 발사되었으며 EROS-B가 개발 중이다. 카메라 제작사는 이스라엘의 ELOP사이며 위성 시스템의 제작사는 ISRAEL Aircraft Industries 사의 MBT division이다. EROS-B는 표 9과 같이 태양동기 궤도의 600km 상공에서 0.87m(흑백) 및 3.48m(컬러) 해상도의 촬영이 가능하며 전후좌우 경사촬영 기능을 갖추었고 푸쉬브롬 방식으로 촬영하며 선택적 TDI 기능이 있다. 또한 EROS는 위성체의 자세 제어를 이용해 비동기 촬영(Asynchronous Imaging)이 가능한데 필요할 경우 많은 영상신호를 획득하기 위해 유효 촬영시간이 길어진다. 우리나라와 이스라엘이 공동으로 개발하고 있는 다목적위성(KOMPSAT) 2호의 다채널 카메라(Multi-Spectral Camera, MSC)도 고도 685km 에서 흑백 해상도 1m, 컬러 해상도 4m의 영상을 촬영할 수 있다. 선형 배열 CCD와 TDI 기술 등이 적용되며 초점면 보정 렌즈군이 부가된 2반사식 광학계를 사용한다.

표 9 EROS 위성의 주요 특성

	EROS-A1	EROS-B1
무게(총)	250kg	350kg
부피	1,210mm*2,235mm	1,210mm*2,255mm
고도	400km	600km
수명	6년	10년
센서	CCD 7,000화소	CCD 7,000화소 32 TDI
해상도	1.8(흑백)	0.87(흑백) 3.5(컬러)
촬영폭	12km	13km
전송속도	70Mbit/sec.	280Mbit/sec.

러시아의 위성 카메라는 정확한 정보가 알려져 있는 않지만 촬영된 영상은 판매되고 있다. 대표적 위성인 DK 시리즈는 0.95m(DK-1) 또는 1.5m(DK-2) 급 해상도를 가지는 영상을 촬영하여 미국에 설립된 LAND INFO International사를 통해 영상을 판매하고 있는데 필름 카메라인지 전자광학 카메라인지(또는 둘 다 사용하는지) 명확하지는 않다. 필름 카메라인 KA-3000은 반사경이 없는 렌즈 타입의 카메라로 전형적인 평면 필름을 이용하는데 270km의 낮은 고도

에서 27km*27km의 촬영 폭을 가지며 해상도는 2m 정도이다. KVR-1000은 KA-3000과는 달리 파노라마 필름 카메라로 40km *160km의 넓은 촬영폭을 가진다. 이러한 러시아의 필름 카메라는 1980년대 미국의 스페이스셔틀 등에서 이용된 사람이 촬영하는 필름 카메라 이외에는 서구에서는 거의 이용되지 않는다.

6. 기술동향

이상의 고해상도 위성 카메라 탑재체 중에서 IKONOS와 QuickBird에 탑재된 고해상도 카메라는 전반적으로 최고의 기술이 적용된 시스템임에는 틀림이 없지만 기술적인 측면에서는 몇 가지 서로 다른 특성과 차이가 있으며, SPOT이나 EROS등의 탑재체도 해상도 면에서는 한 단계 아래지만 몇 가지 기술적 특성이 있다.

QuickBird의 촬영환경 중에서 눈에 띄는 것은 표 10에서와 같이 IKONOS보다 낮은 촬영고도와 넓은 촬영폭이다. 넓은 촬영폭은 촬영 주기를 높이는 한편 낮은 촬영 고도로 인해 회절한계에 따른 광학계의 유효구경은 상대적으로 줄어들며 결과적으로 중량이 줄어들게 된다. 그러나 넓은 촬영폭을 구현하기 위해 제작이나 조립면에서 까다로운 무차폐 3반사경 시스템을 적용하였다. 동일한 고도를 적용할 경우 QuickBird의 촬영 폭은 IKONOS보다 2.3배 더 넓으므로 관측주기가 짧아져 특정 목표물에 대한 시간해상도(Temporal Resolution)를 높여주게 된다. 높아진 시간 해상도 구현을 위해 보다 넓은 시야를 가지는 광학 시스템이 적용되었고 초점면의 CCD 화소의 총 개수도 27,000개로 IKONOS의 13,500개보다 많다. 그리고 동일한 촬영폭으로 낮은 고도에서 특정 목표를 촬영할 경우 궤도의 특성상 재방문 시간을 유지하기 위해서는 진행방향의 좌우 지향각 조절 범위가 더 넓어야 하는데 QuickBird는 오히려 IKONOS보다 더 좁은 지향각 조절범위를 가지며, 이것은 넓어진 촬영폭 덕분이다.

표 10 IKONOS와 QuickBird의 특성 비교

특성	IKONOS	QuickBird
고도	681	450
촬영폭	11	16.5
디텍터 화소수	13,500	27,000
디텍터	선형(푸쉬브룸)	선형(푸쉬브룸)
해상도	1	0.6
지향각(진행방향)	±45°	±30°
지향각(수직방향)	±45°	±30°

위성 관측 고해상도 카메라에 널리 적용되는 카메라 방식은 태양동기 궤도상에서의 푸쉬브룸 촬영을 위한 선형 배열 디텍터와 대표적인 2반사경식인 카세그레인 내지는 카세그레인 변형방식이다. 푸쉬브룸 방식은 이미 정형화 되었는데 궤도당 높은 촬영폭을 얻기 위해 2반사경 보다 넓은 시야를 가지는 3반사경 광학시스템을 적용하고 있으며 보다 많은 영상 신호를 획득하기 위해 TDI 방식을 적용한다. IKONOS와 QuickBird 모두 이러한 기술경향을 따르고 있다. 특히 QuickBird의 완전 3반사경식 광학계는 높은 촬영폭 뿐만 아니라 IKONOS나 기타 2반사경 시스템에서 발생하는 차폐효과에 의한 MTF 감소와 유효 구경 면적의 감소가 없으며 기존의 2반사식 내지는 변형 방식의 시야 보다 넓다.

IKONOS 탑재카메라는 2반사경식을 응용한 부분 차폐식 3반사경식 광학적 구조를 가진다. 이는 흔히 코셔(Korsh)방식으로 불리는데 2반사 광학계의 장점을 최대한 살리면서 효과적으로 관측시야를 넓힌 구조이다.

초점면의 디텍터 배치는 두 시스템 모두 흑백 및 칼라용 디텍터를 단일 면에 선형으로 배치하였는데 별도의 분광 광학계가 없이 해당 광학 필터를 디텍터에 바로 배치하여 공간 배치의 효율성이 돋보인다. 또한 여러 개의 선형 CCD를 조합한 배열을 이용하는데 이는 단일 CCD의 제작상 어려움 때문이지만 한편 각각 CCD 배열의 정렬과 배열간의 불연속성 등으로 인해 이를 보상하기 위한 추가의 영상처리 과정을 필요하게 한다. 탑재카메라의 지향각 조절범위는 경사촬영을 위한 중요기능인데 두 시스템 모두 전후좌우 조정이 가능하다.

한편 SPOT시리즈는 IKONOS나 QuickBird와는 다소 다른 기술적 특성을 가진다. 먼저 SPOT 1에서부터 동일한 카메라를 2개씩 탑재하여 촬영폭과 경사촬영 가능성을 최대화 하였다. 또한 카메라의 지향방향 조절을 위해 IKONOS나 QuickBird처럼 위성체를 이용하지 않고 그림 2에서처럼 별도의 스캐닝 미러(Mirror)를 장착하여 목표물에 대한 기동성이 매우 뛰어나다. 또한 최근에 개발된 SPOT 5는 HRS(High Resolution Stereoscopic)라는 별도의 카메라가 탑재되어 위성의 진행방향으로 흑백(Pan) 대역에 대한 경사촬영 기능을 제공한다. 단순 공간 해상도에서는 최대 해상도 2.5m로 IKONOS나 QuickBird에 비해 낮지만 높은 기동성과 넓은 관측

범위가 돋보인다. 광학적 구조도 변형된 슈미트(Schmidt) 방식으로 시야가 $\pm 2.1^\circ$ 인데 2반사경 내지 3반사경 방식으로는 힘든 규격이다. 초점면 분광장치로는 특수한 광학적 코팅이 적용된 광분리기(Beam Splitter)를 이용했는데 IKONOS나 QuickBird의 카메라처럼 별도의 광분리기 없이 직접 광학필터를 디텍터 위에 부착하는 방식보다는 고전적인 방법이다. SPOT 탑재 카메라의 해상도가 SPOT 5에서처럼 별도의 추가기능 없이 1m 수준까지 향상되려면 기본설계의 많은 부분이 변경될 것으로 예상되며 IKONOS나 QuickBird처럼 대구경 반사경 광학계가 필요하고 60km 정도의 넓은 촬영폭을 유지하기 위해 역시 2개의 탑재카메라가 필요하다.

EROS에 대해서는 탑재 카메라에 대한 기술적인 자료 부족으로 자세한 내용을 파악하기 힘들지만 EROS-B의 경우 촬영고도나 해상도 및 관측 파장대역들을 고려할 때 고해상도 영상 획득에 주된 목적이 있으며 영상획득을 위한 최적의 조건을 위해 비동기 촬영을 적용하는 등 몇 가지 특징이 보인다.

7. 결론

위성 탑재 고해상도 카메라 시스템은 QuickBird의 발사성공으로 인해 항공촬영 해상도인 0.2~0.3m 수준과의 해상도 차이를 점점 줄이고 있다. 물론 미국이 주도하겠지만 이러한 추세는 기타 여러 국가에도 파급될 것이고 이러한 고해상도화의 추세 속에서 각국에서 개발하였거나 개발 중인 카메라는 몇 가지 기술적 방향성을 가지고 있다.

앞서 언급했듯이 해상도 향상이 가장 큰 기술적 동향으로 파악된다. 이미 1m 이하급 해상도가 실현된 이상 미국의 기술규제(현재 상용 0.5m 해상도)가 완화되면 항공사진의 해상도 범위와 근접한 0.5m 이하급 해상도 위성 카메라 개발이 추진될 것으로 보인다. 또한 공간적 해상도 향상과 함께 시간적 해상도인 촬영주기를 높이고 촬영 폭을 넓히는 기술도 지속적으로 개발될 전망이다. 필요시 EROS의 경우처럼 여러 대의 위성으로 촬영 망을 구성하는 기술도 예상된다.

SPOT 시리즈의 경우처럼 2~5m 급의 중간 해상도로 촬영하면서 경사촬영이나 능동적 지향각 조정 등 촬영의 유연성과 기동성을 높인 시스템도 지속적으로 개발될 전망이다. 이러한 시스템의 경우 상대적으로 낮은 해상도를 보상하는 기능들이 장점으

로 취급된다. 또한 현재의 가시광선 영역 위주의 촬영 대역에 SPOT의 일부 파장 대역처럼 적외선 영역을 추가하는 경우도 예상된다.

카메라 시스템의 해상도가 증가함에 따라 카메라의 무게와 부피의 증가가 불가피하게 되는데 무게와 부피를 효율적으로 줄이며 구조 및 열적 안정성을 확보하기 위한 부품 및 시스템 기술 개발이 지속될 것 같다. 대형 광학부품의 광학적, 구조적 및 열적 성능이 향상되어야 하고 길어진 초점거리를 효율적으로 구현할 수 있는 공간 배치가 필요하며 발사 진동과 우주의 열적 환경에 대한 구조물의 높은 안정성이 필요한데 이미 IKONOS와 QuickBird의 카메라에는 이러한 기술적 요구가 적용되었으며 향후 개발될 시스템에도 동일하게 적용 될 것으로 예상된다.

현재 제작가능한 단일 선형 CCD의 최대 길이가 12,000~13,000 정도인 점을 고려한다면 당분간 15,000 화소 이상의 단일 CCD 제작은 힘들 것 같고 지금까지 적용해 왔듯이 몇 개의 부분으로 나누어 제작 및 조립하는 기술이 계속 이용될 것 같다. 이에 따라 각각의 선형소자 조립 및 정렬문제가 중요한 기술로 분류될 것 같다. 그리고 파장별 분광장치는 IKONOS나 QuickBird처럼 단일 광학소자에 다층 코팅(Coating)을 이용해 여러 개의 필터를 만드는 기술이 적용될 것이다.

높은 해상도와 넓은 영역의 다양한 파장대역을 가진 영상이미지를 짧은 시간에 처리하기 위해서는 대용량 신호처리 기술과 신호 압축, 저장 및 전송 기술 개발도 중요한 기술적 경향이 될 것이다.

탑재 카메라와 함께 고해상도 카메라를 탑재할 위성체도 몇 가지 기술 동향이 예상된다. 위성체의 진동을 최소화하여야 하며 자세제어의 지향성 정밀도도 충분히 유지되어야 하고 탑재체의 영상신호를 효과적으로 저장 및 전송할 수 있어야 하며 탑재체를 위한 열적, 구조적 안전성도 유지해야 한다. 이러한 기술적 방향은 QuickBird의 BCP2000 위성체와 같이 저궤도 고해상도 카메라 전용 위성체 모델 개발로 이어질 것으로 예상된다. 조금 더 자세히, 넓게 그리고 자주 촬영하기 위한 탑재 카메라의 기술개발은 지속될 전망이다.

참고문헌

1. SPOT user's handbook, Vol.1, CNES, 1988
2. SPOT technical data, <http://www.spotimage.fr>

3. C. B. Pease, Satellite Imaging Instruments, Ellis, 1991, pp. 275-298
4. Frans Jurgens, Picture Perfect, Imaging Notes, 1999
<http://www.imagingnotes.com/marapr99/pictureperfect.htm>
5. Mark K, et al, IKONOS Technical Performance Assessment, Proc. SPIE, 4381, 2001, pp.94-108
6. T.H.Miers et el, Proc. SPIE, 4169, 362(2001)
7. Gordon Petrie, Optical Imagery from Airborne & Spaceborne Platforms. GEO Informatics, 2002
8. Moshe Bar-Lev, et el, Proc. EROS SYSTEM-Satellite Orbit and Constellation Design, 22nd Asian Conference on Remote Sensing, 2001