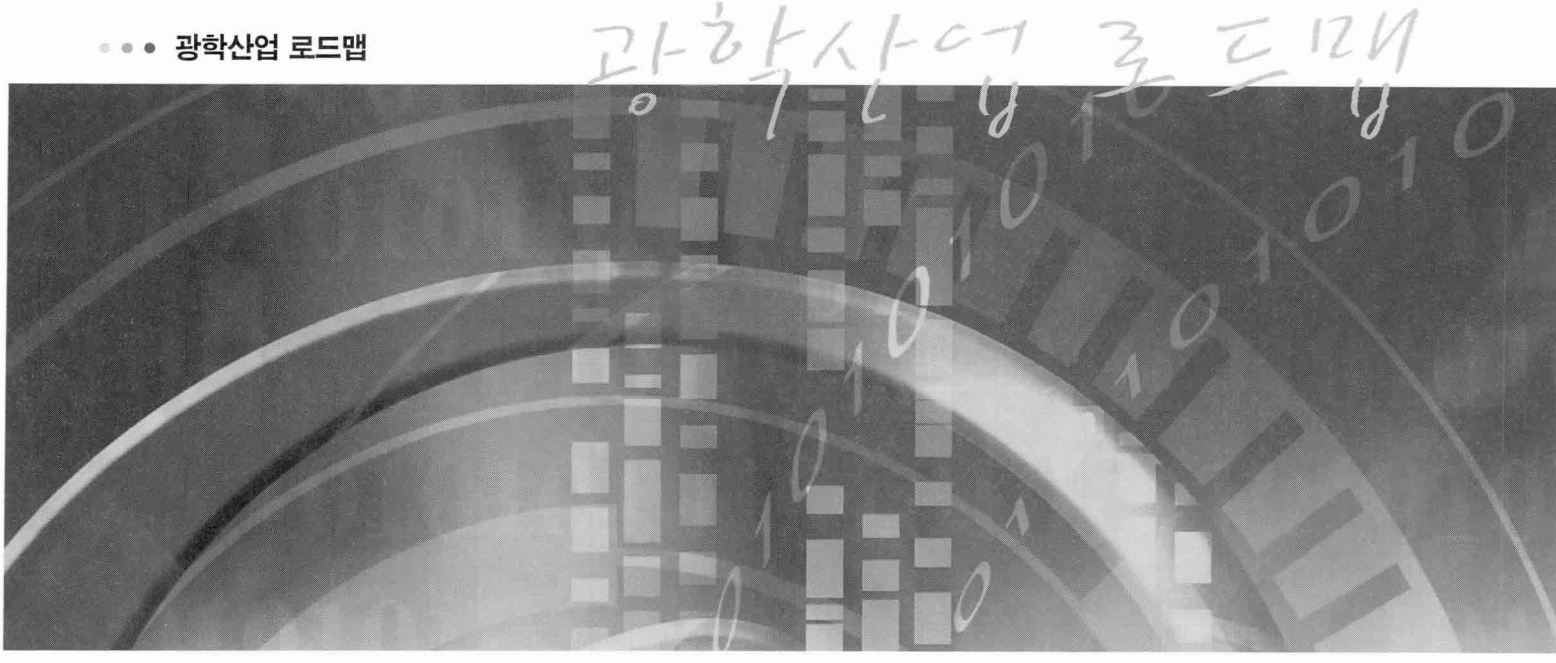


대형 광학계 (Large Optics)

국내 광산업은 80년대 카메라, 복사기 등 결상기기 중심에서 90년대 이후에는 결상기기와 더불어 레이저 가공기, 광정보기기, 광통신기기 등 광응용기기로 확대되고 있다. 2005년 기준으로 볼 때 국내 광산업은 세계시장의 약 5.5%를 차지했으며, 정밀 광산업 기술로드맵과 직접 관련되는 광정밀기기, 광정보기기, 광학기기분야의 수입은 68%, 수출이 90%를 차지해 수출역점산업임을 알 수 있다. 따라서 2010년에는 광산업 세계 시장규모가 400조 원 수준에 이를 것으로 예상되는 가운데 이에 대비하여 국내 광산업의 성장기틀을 다질 때이다.

- 본 고는 한국광학기기협회에서 작성한 정밀광학기기 분야의 기술로드맵 내용 중 대형광학계 분야의 시장 전망과 국내 기술 현황에 대한 내용을 발췌, 정리한 것이다.-

대형광학계라고 함은 인공위성 카메라, 천체망원경, 시준장치, FPD용 노광기 등 직경이 300mm 이상인 중대형 광학계와 형상오차가 수십 nm 이하인 초정밀급 광학계를 말한다(그림 1).

망원경의 경우에는 대형 비구면 거울을 사용하므로 이를 가공 및 측정하기 위한 전문적인 기술 개발을 현재 한국표준과학연구원을 중심으로 연구하고 있다. 2006년까지 직경 1m 망원경을 제작할 수 있는 기술토대를 마련했으며, 2010년에는 직경 2m급의 기술이 필요하다.

대형 광학계 개발을 위한 핵심기술은 광기계 해석, 대형 거울 가공, 조립 및 시험기술이다.

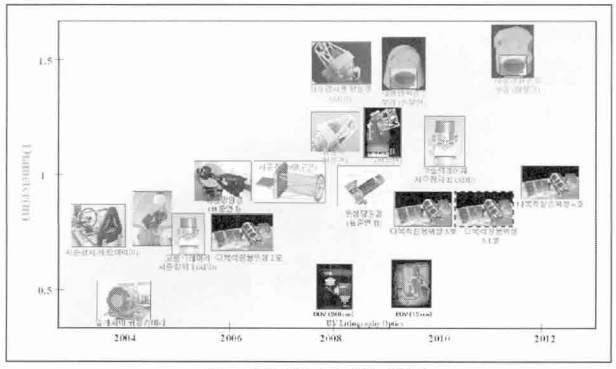


그림 1. 국내 개발관련 대형 광학계

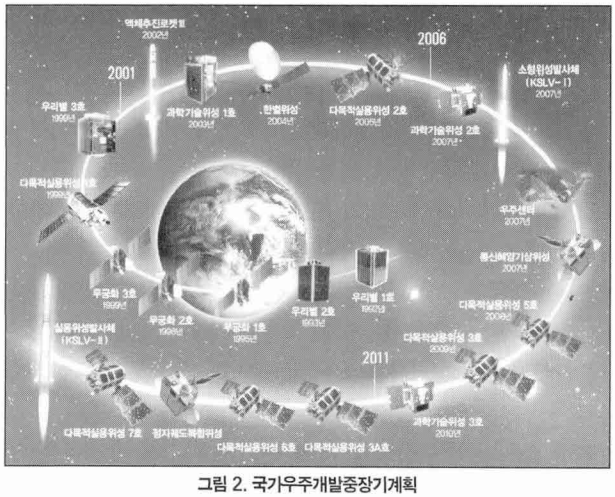


그림 2. 국가우주개발중장기계획

표 1. 국내에서 개발된 인공위성용 카메라 비교

위성	발사연도	구경	해상도	비 고
우리별 1호	1992. 8	-	4km, 400m	상용 카메라
우리별 2호	1993. 9	-	2km, 200m	상용 카메라
우리별 3호	1999. 5	100 mm	15 m	5장의 구면렌즈, 거울
다목적 위성 1호	1999. 12	125 mm	6.6 m	3장의 비구면 거울, 1장 평면거울
과학위성 1호	2003. 10	50×93mm	우주관측	2장의 비구면 거울
다목적 위성 2호	2006. 7	600mm	1m	2장의 비구면 거울, 렌즈
RazakSAT	2006 예정	300mm	2.5m	2장의 비구면 거울, 말레이시아

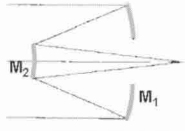
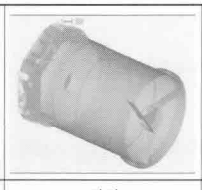
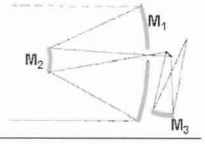
2면 망원경		3면 망원경
		
0.5m~2.0m	직경	0.5m~1.5m
0.6m~2m	해상도	0.3m~1m
440nm~800nm	사용파장	440nm~2200nm
30nm RMS	시스템 파면오차	30nm RMS
쉽다	정렬의 용이함	어렵다
ROCSAT(1m)	사용 예	QuickBird(0.67m)

그림 3. 2면과 3면 우주망원경 비교

그림 2는 국가우주개발 중장기계획으로 항공우주연구원에서 주도하고 있다. 계획에 따르면 2~3년 주기로 새로운 인공위성을 발사하는데, 실용위성은 대부분 위성 카메라를 탑재하고 있다.

과학위성의 경우에는 우주실험을 위한 광학센서와 각종 망원경들을 탑재하는데, 인공위성 수명은 3년 정도이며 매우 고가이다. 또한 기술수준이 매우 높고 타 분야 산업에 대한 파급효과가 큰 것이 특징이다.

문제는 선진국들의 기술보호가 엄격하여 종속관계가 지속될 가능성이 높다는 것이다. 이를 극복하고 국내에 새로운 우주 광산업을 발전시키기 위해서는 광기술분야의 산학연 노력이 절실한 실정이다.

위성카메라는 표 1에서 볼 수 있듯이 1992년부터 발사한 우리별 시리즈, 과학위성 1호, 다목적위성 1, 2호를 통해 모두 6기의 위성카메라를 개발하여 발사했다.

위성카메라 연구는 KAIST 인공위성센터에서 시작했지만 지금은 전문연구소인 항공우주연구원에서 고해상도 카메라를, 그리고 벤처기업인 (주)세트렉아이에서 중해상도 카메라를 개발하고 있다. 이들 기관들은 모두 표준과학연구원에서 광학기술을 도움 받고 있다.

초기에는 일반 상업용 카메라를 그대로 쓰거나, 100mm 이하의 소형 광학계를 이용한 카메라를 제작하여 해상도 10m 이상에서 사용했다. 그러나 근래에 들어와 해상도가 10m 아래로 높아지면서 광학계의 크기도 커지고 비구면 반사거울을 사용하는 추세이다.

해상도가 1m인 다목적위성 2호는 구경 600mm인 비구면 반사거울을 사용하며, 해상도가 2.5m인 RazakSAT은 구경 300mm인 비구면 반사거울을 사용하고 있다. 다목적위성 2호의 경우, 600mm 비구면 반사거울의 형상정밀도 λ

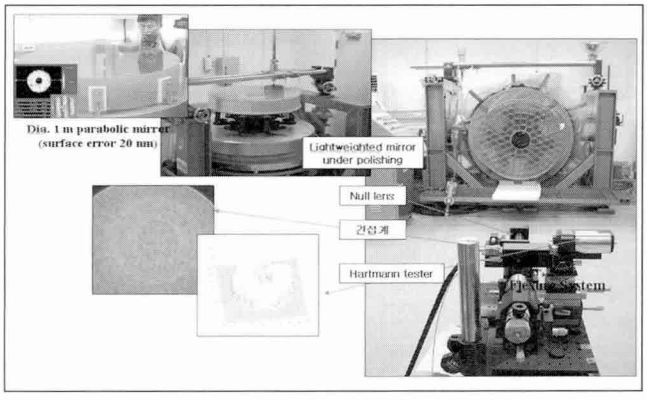


그림 4. 표준과학연구원의 비구면 거울 연마 및 형상측정기술

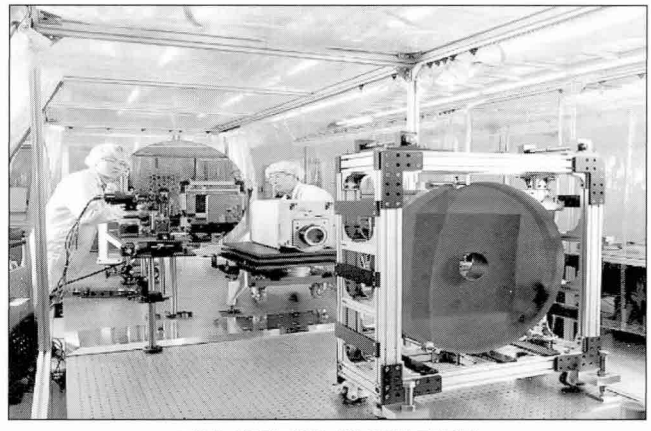


그림 5. 비구면 거울의 대형 망원경 조립과정

/70(=9nm) RMS 이하로 가공해야 하는 매우 높은 수준의 가공 정밀도를 요구한다.

그림 3은 우주망원경의 종류와 특성을 나타낸 것이다. 해상도를 높이기 위해서는 재래식 2면 비구면 구조보다는 3면 비구면을 사용한다. 3면 비구면 망원경은 정렬이 어렵지만 렌즈를 사용하지 않으므로 파장영역이 넓으므로 근적외선에서도 사용한다. 지금까지 국내에서 개발된 망원경은 모두 2면 비구면이다.

고해상도의 3면 반사망원경은 경량화된 3개의 초정밀 비구면 거울(형상오차 λ/20rms)과 복합소재 광구조물로 구성되며 시스템 파면수차가 λ/30rms 정도인 초정밀급이다.이를 개발하기 위해서는 광학설계기술, 광기계 제작기술, 우주시험기술 등이 필요하다.

한편, 해상도 1m 이하의 위성카메라와 직경 400mm 이상 비구면 거울은 전략물자이다. 선진국에서 기술이전을 엄격히 제한하므로 자체적으로 개발해야 한다. 더구나 인공위성의 수명은 3년 정도이므로 고해상도 영상을 계속적으로 획득하기 위해서는 반드시 국산화해야 한다.

선진국의 경우 해상도 1m의 위성망원경 개발기간은 약 3년이며 직경이 커지면 기간은 늘어난다. 직경 0.8m의 3면 위성망원경은 신기술이므로 약 4년 정도 소요된다. 관련 인프라가 부족한 우리나라의 경우에는 제작에 4년, 시험에 1년 정도이므로 5년 정도에 완성할 수 있다. 하지만 비행모델인 경우에는 신뢰도를 높이기 위하여 1년 정도의 시험기간이 더 필요하다.

고해상도 인공위성카메라의 핵심기술은 대구경 비구면 거울 연마기술, 광기계구조물 제작기술, 광학계조립 및 시험기술 등이다. 위성용 거울은 경량화된 초정밀 비구면이므로 경량화기술, 비구면 형상측정기술, 그리고 비구면 연마기술을 함께 개발하여 활용하는 것이 가장 효과적이다.

그림 4는 표준과학연구원의 비구면 연마장치이다. 최대 연마가능 직경은 1.2m이며 볼록 및 오목 비구면 모두 가능하다.

직경 1m 비구면 거울의 가공기간은 약 3개월이며 형상오차는 20nm(RMS) 이하이다. 비구면의 최종 형상은 null 렌즈를 이용한 레이저 간섭계를 사용하며 Null 렌즈는 재래식 구면렌즈나 CGH(Computer Generated Hologram) null를 사용한다.

망원경 조립은 클린룸에서 하며 레이저 간섭계를 사용한다. 정렬시간을 단축하기 위하여 간섭무늬를 이용한 자동방법을 개발해야 한다. 우주망원경의 최종성능은 MTF를 측정하기 위한 시준장치가 들어있는 열진공챔브를 사용하며 표준과학연구원에서 개발하고 있다.

최근에 국내에서도 중대형 천체망원경의 수요가 급증하고 있다. 천문연구원과 대학교에서 연구용 망원경을 개발하고 있으며, 지방자치단체들이 천문대 건설을 위하여 직경 600mm ~1000mm급 망원경을 요구하고 있는 실정이다. 천문연구원에서는 직경 6m의 대형 광학망원경사업을 국제공동 연구사업으로 미국, 멕시코 등과 추진하고 있다.

이밖에 노광기와 같은 자외선 광학계와 고출력 레이저 광학계를 위한 광학박막기술의 수요가 증가하고 있으며, 대면적 광학계용 박막증착기술 요구가 갈수록 높아지고 있다.