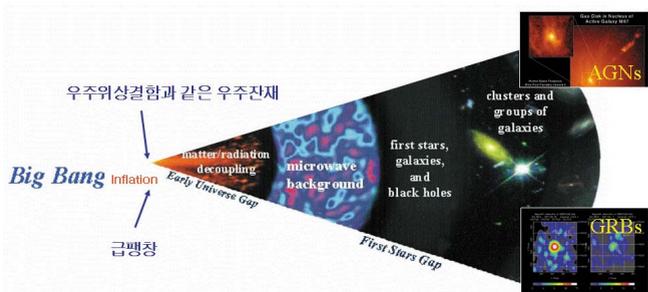


# 반도체 망원경으로 우주 신비 벗긴다

글 | 박일홍 \_ 이화여대 물리학과 교수 ipark@ewha.ac.kr

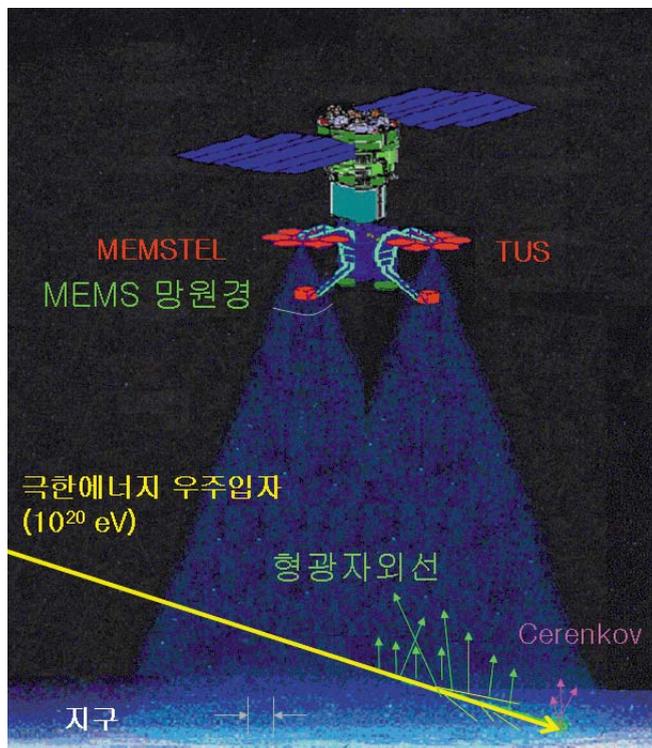
2006년 과학기술부의 창의적연구진흥사업으로 선정된 MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 우주망원경 연구단은 새로운 우주관측 장르인 입자천문학을 여는 시도를 하고 있다. 가시광, 적외선, 자외선 등 지금까지의 전자기파를 이용한 천문학 연구에서 초고에너지 우주입자를 이용해 우주관측을 하고자 하는 것이다. 이러한 우주관측에 우리의 반도체 기술을 이용한 세계 최초의 반도체 망원경이 사용될 예정이다. 선진국에서만 가능하였던 고비용의 대형우주망원경을 우리도 저비용으로 이용해 현대우주론의 수수께끼 규명에 도전할 수 있게 된 것이다.

필자는 실리콘 MEMS 기술로 제작된 수많은 마이크로미터 셀로 구성되는 꺾반사경을 2004년 최초로 제안하고 이를 개발하고 있다. 꺾반사경은 응용 목적에 따라 수만~수백만 마이크로미터 셀로 구성되나, 셀 하나하나씩은 각각 능동적으로, 그리고 독립적으로 작동한다. 이러한 꺾반사경의 개발에 이어 규격화가 이루어진다면 차세대 우주망원경, 차세대 감시 카메라 등 수많은 응용이 가능할 것

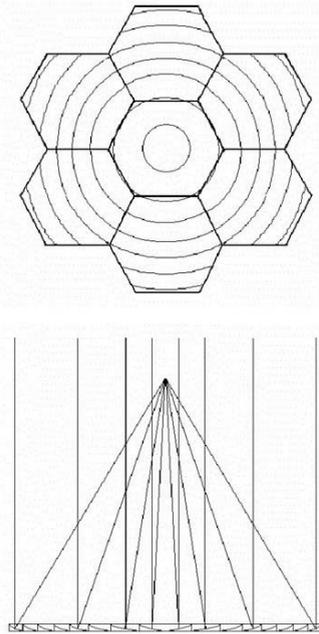
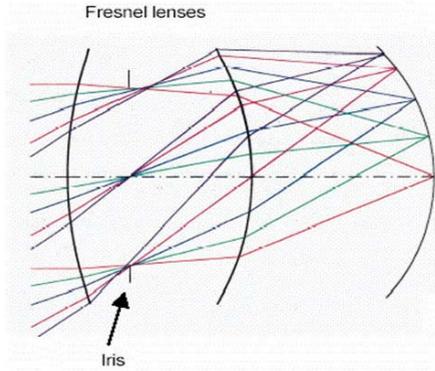


(그림 1) 극한에너지 우주입자가 만약 존재한다면, 이는 우주 급팽창 당시 위상 결합으로 남겨진 우주잔재일 가능성이 있다. 또는 아직 밝혀지지 않은 거대한 에너지의 천체(AGN, GRB 등)가 있어 이곳에서 생성된 것일 수도 있다. 이외에 다른 차원의 존재, 양자중력효과, 상대론의 깨짐과도 같은 가설이 있을 수도 있다.

으로 보인다. 즉 실리콘 기술의 규격화는 쉽게 산업화로 이루어질 수 있고, 이는 우주과학 등의 고비용의 연구 목적에 저렴하게 응용될 수 있음을 뜻한다. 현재 연구단은 가장 난이도가 높은 빛과 같은 속도의 물체를 추적하는 다각변환 마이크로미터 개발과 이들로 구성된 꺾반사경의 개발을 통하여 초고속 고감도 초대형 망원경 개발에 초점을 맞추고 있다. 물론 이보다 속도가 느린 모든 물체에 대한 망원경 및 카메라에 쉽게 적용될 수 있을 것이다.



(그림 2) 극한에너지 우주입자가 대기와 충돌하면서 발생하는 형광자외선, 그리고 인공위성에서 우주망원경으로 이를 관측하는 방법



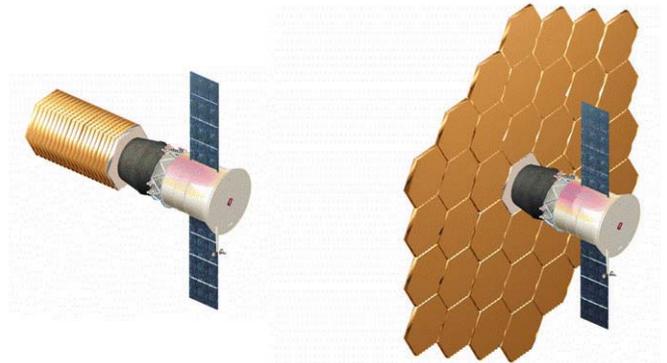
〈그림 3〉 EUSO 프로젝트의 이중 프레즈넬 렌즈 광학계 (왼쪽), TUS 프로젝트의 간단한 미러 광학계 (오른쪽)

### 우주에서 망원경으로 형광자외선 측정

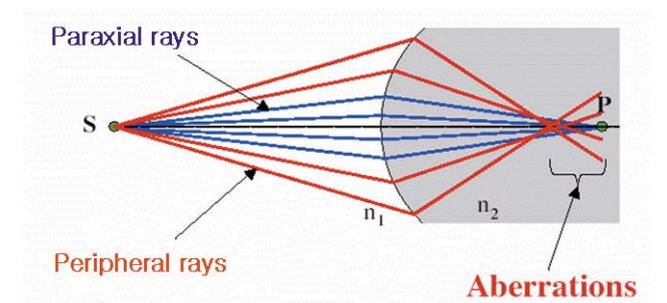
대형 MEMS 접반사경 추적망원경 개발의 최종 목적은 순수과학에 있다. 현대기초과학이 풀어야 할 11대 과제 중의 하나인 극한 에너지 우주입자의 존재를 규명하고자 하는 것이다. 극한에너지 우주입자의 에너지( $10^{20}$ eV)는 우주가 빅뱅 후 1초가 채 되지 않았던 때에 우주가 가졌던 에너지( $10^{25}$ eV)에 해당될 만큼 엄청나다. 따라서 많은 현대우주론의 이론가들은 이들이 빅뱅 후  $10^{-34}$ 초에 급팽창이 일어날 당시 생성된 우주의 위상결함과 같은 하나의 우주 잔재이고, 이와 같은 엄청난 에너지 우주물체가 우리 주위에 존재할 것으로 예측하고 있다(그림 1 참조). 또는 우리가 아직도 모르는 엄청난 에너지를 가지는 천체가 있어 이러한 극한에너지 우주입자를 가속시킬 수도 있을 것이다. 여하튼 이러한 우주입자가 지구로 떨어져 지구 대기를 통과하면 수천억~수조개의 이차입자가 만들어지고 이들의 다발이 지상에 내려앉게 된다.

한편 빛의 속도로 지상으로 내려오는 이차입자들은 지구 대기의 주성분인 질소 원자를 여기(excitation)시켜 형광자외선을 사방팔방으로 방출하게 한다(그림 2 참조). 이러한 형광자외선은 고층대기에서 지상 방향으로 빛의 속도를 가지면서 시간적으로 발달한다. 따라서 극한에너지 우주입자의 관측을 위하여 매우 큰 면적에 지상의 검출기를 배치하여 이차입자들을 직접 측정하는 방법과 또는 형광자외선을 망원경으로 측정하는 방법이 있을 것이다. 물론 이외에 유사한 메커니즘으로 방출되는 전파 또는 사운드를 측정하는 방법도 있다.

연구단에서는 형광자외선을 우주에서 측정하는 방법을 택하고 있으며, 이는 아직도 세계적으로 측정된 적이 없다. 형광자외선의 신호는 고도 1만m 상공에서 100W 전구하나를 보는 것과 같기 때



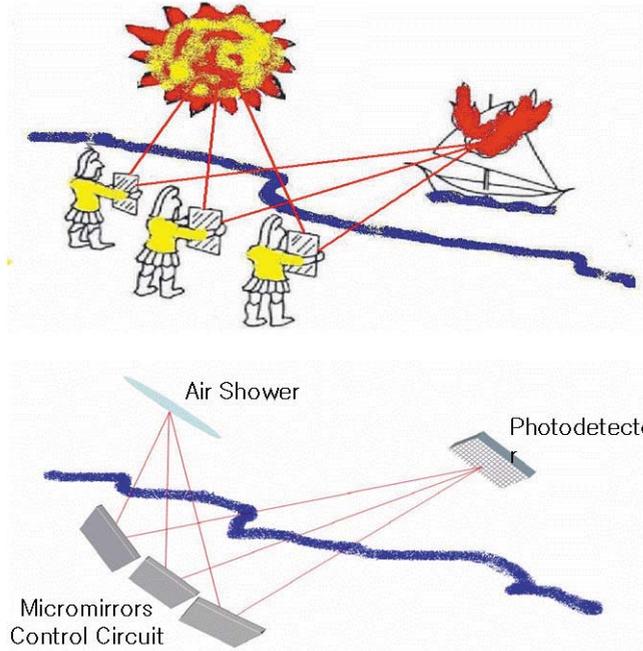
〈그림 4〉 러시아 프로그래스 화물우주선을 통해 우주로 운반될 거울 조각. 우주에서 반경 10m에 해당하는 거울로 펼쳐진다.



〈그림 5〉 렌즈의 반경이 커지면서 상이 초점에 모이지 않는 광학수차 현상이 나타난다. 먼거리 광학계에도 마찬가지로의 구면수차가 나타난다.

문에 신호가 매우 미약해 측정이 어렵다. 따라서 이렇게 미약한 신호를 측정하기 위해서는 많은 광의 집속이 가능한 대형의 구경을 가진 망원경이 필요하다. 그리고 극한에너지 우주선이 지구를 두드릴 빈도는 매우 낮아서  $1\text{km}^2$  면적에 100년에 고작 하나 정도가 떨어질 정도다. 따라서 매우 큰 지상 또는 대기 면적(수천~수십만 $\text{km}^2$ )

을 관측하고 있어야 하므로 우주망원경의 광시야각의 구현이 중요하다.

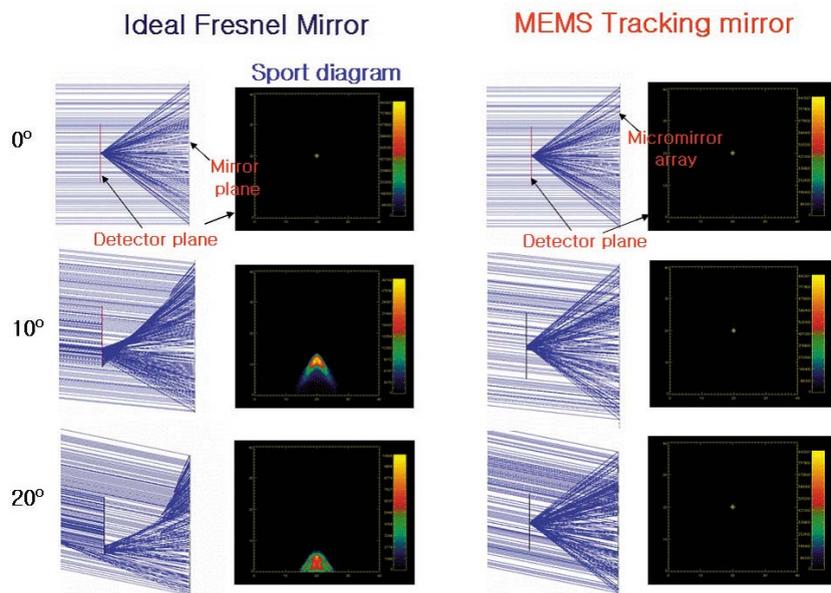


〈그림 6〉 아르키메데스 미러 (위), 저자가 제안한 추적 미러(Tracking Mirror)의 개념도 (아래)

‘아르키메데스 미러’의 현대판

이러한 우주실험은 현재 세계의 우수 대학 연구기관, 유럽우주국(ESA), 미국우주국(NASA), 일본우주국(JAXA)이 진행하고 있는 EUSO 프로젝트와 이화여대, 연세대, 서울대, 모스크바대, 러시아 우주국(RSA)이 추진하고 있는 TUS 프로젝트가 대표적이다. EUSO 프로젝트는 광시야각(FOV=60도)을 성취하기 위하여 구경 2.5m의 더블프레즈넬 렌즈를 사용하는 복잡한 광학계를 선택하고 있어 기술적으로 큰 도전이 되고 있다(그림 3 참조). 한편 TUS 프로젝트는 매우 간단한 미러 광학계를 선택하고 있으며, 미러 조각을 우주에서 펼치는 방법으로 수미터 또는 수십미터 반경의 초대형 미러를 구성할 수 있다는 큰 장점이 있다. 초대형 미러를 이용한 광학계는 미래의 우주망원경의 궁극적인 선택이 될 수밖에 없을 것이다(그림 4 참조). 그러나 렌즈 또는 미러의 구경이 커질 때 구면수차가 커지게 되어 상의 초점화에 큰 문제가 생기기 시작한다(그림 5 참조). 간단한 미러 광학계에서 구경 1m 이상일 경우 시야각은 10도 이하로 심각하게 제한될 수밖에 없다. 물론 시야각을 높이기 위하여 여러 복잡한 미러 광학계를 사용할 수도 있으나, 반대로 광의 손실이 야기되어 미약한 신호를 검출할 수가 없는 어려움이 뒤따른다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 필자는 능동적인 겹반사경을 제안하게 되었다. 즉 반사경 자체가 반도체 MEMS 기술로 제작되는 수백만개의 마이크로미러로 구성된다. 군인들이 많은 거울조각으로 적선에 태양빛을 집속시켜 불태웠던 ‘아르키메데스 미러’의 현대판으로, 각각의 마이크로미러 셀은 전기제어회로를 통하여 독립적으로 제어될 수 있어 관측 목표가 어디에 있든 상의 완벽한 초점을 구현할 수 있다(그림 6 참조). 이는 광시야각에 걸친 목표의 감시는 물론, 마이크로미러의 빠른 회전각으로 광속의 빠른 목표도 추적할 수 있는 기능을 가진다. 이러한 아이디어의 시뮬레이션 결과는 매우 고무적이다(그림 7 참조). 즉 일반적인 프레즈넬 미러의 한계를 실시간 초점을 구현할 수 있는 겹반사경을 이용함으로써 극복할 수 있는 것이다. 이러한 MEMS 망원경은 추적기능은 물론, 시야각이 60도를



〈그림 7〉 망원경으로의 입사각이 0도, 10도, 20도인 경우의 시뮬레이션 결과. 가장 완벽한 프레즈넬 미러인 경우의 광선추적과 스폿 다이어그램(왼쪽). 본 연구의 MEMS 망원경인 경우(오른쪽)

넘어 이론적으로 80도에 도달할 수 있을 것으로 기대된다.

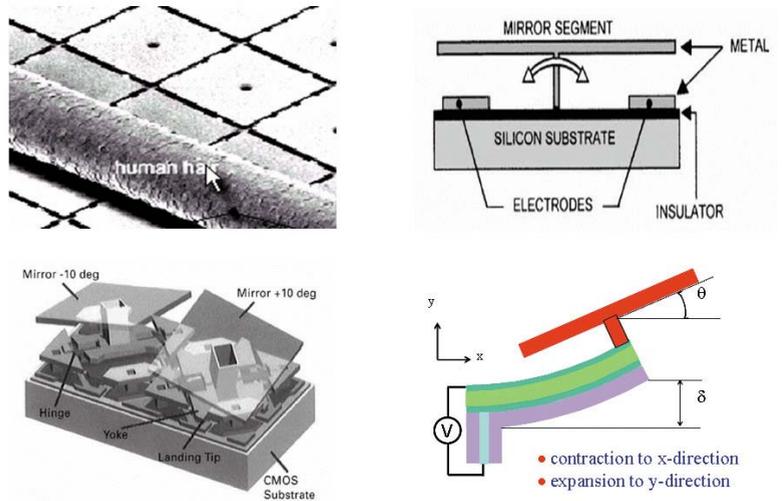
마이크로미러는 가장 대표적인 MEMS 기술로 수년 전부터 디스플레이와 광통신 그리고 최근에는 스캐너 등에 이용하기 위하여 구대우전자, 텍사스 인스트루먼트와 M2N과 같은 국내 벤처회사에서 개발해 왔다. 구 방식은 크게 1축-구동과 2축-구동, 디지털식과 아날로그식, 그리고 정전기력, 자기력, 압전 구동식으로 나눌 수 있다(그림 8 참조).

### ‘다각변환 아날로그식 마이크로미러’도 개발중

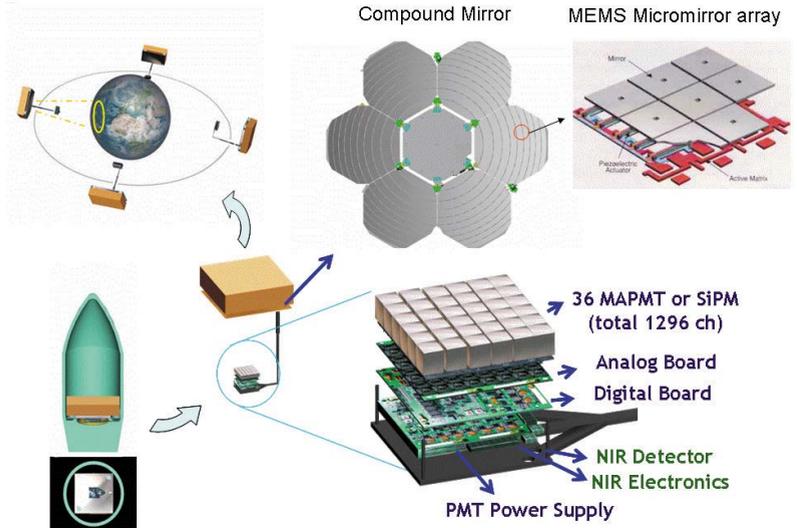
한편 연구단은 망원경 또는 카메라에 최초로 활용하기 위하여 다각변환 아날로그식 마이크로미러를 개발하고 있다. 현재 우리의 기술 정도는 2축 구동 아날로그식 다각변환 마이크로미러를 정전기구동식과 압전구동식 모두를 고려하고 있으며, 1도를 움직이는 속도가 수백 마이크로초로 앞으로 수십배의 속도 개선이 필요하다. 최대 각 변위는 10도를 목표로 하고 있지만 6도 정도가 돼도 충분할 것으로 보인다. 또한 각 셀에서 미러가 차지하는 유효면적을 80% 이상으로 목표 삼고 있다. 이외에도 미러의 각 정확도는 현재 0.1도 정도로 약간의 개선이 필요하며, 미러의 표면은 알루미늄으로 자외선에 대하여 약 90% 이상의 반사율을 보이고 있다. 우주에서의 사용을 위한 전력소비량, 무게, 크기 등 역시 문제가 없어 현재 연구단은 마이크로미러의 동작속도와 유효면적을 크게 개선하는 데 초점을 두고 있다.

연구단은 앞으로 3년 동안 MEMS 우주망원경의 아이디어를 증명하고 시제품을 제작해 2008년 또는 2009년에 국제우주정거장 또는 인공위성에 시제품을 탑재하여 발사할 예정이다(그림 9 참조). 그리고 2011년에 최종 망원경을 제작하여 우주에 올릴 예정이다.

MEMS 우주망원경으로 오로라 대기현상은 물론, 최근 대기과학에서 초미의 관심사가 되고 있는 ‘블루 제트’, ‘스프라이트’와 같은 극한 대기 방전현상을 연구할 수 있으며, 운석 낙하와 대형 폭발 및 화재 감지도 동시에 수행할 수 있다. MEMS 우주망원경연구의 성공적인 수행은 적응광학이 필수인 미래 우주망원경의 궁극적인



〈그림 8〉 머리카락과 비교한 마이크로미러의 크기(위 왼쪽), 텍사스 인스트루먼트에서 상용화한 디지털 미러의 두 셀의 구조(아래 왼쪽), 정전기 구동방식(위 오른쪽), 압전 구동방식(아래 오른쪽)



〈그림 9〉 겹판사경을 가진 MEMS 우주망원경 시제품의 구조

방향을 제시할 수 있으며, 산업적 활용으로는 다중목표 동시추적과 같은 차세대 카메라 기술에 적용될 수 있을 것이다. 특히 보안 감시 기술, 로봇 시각 기술에 새로운 기반과 모멘텀을 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 그리고 초대형 우주 미러가 가능해 우주등 또는 인공달이 떠 있는 날을 기대할 수도 있을 것이다. ㉔



글쓴이는 미국 유타대학에서 물리학 박사학위를 받은 후 독일 DESY 연구소, 미국 SSCL 연구소, 오하이오주립대학 연구원, 경북대 초빙교수 등을 지냈다.