

최근 세계 천문기기 분야의 연구개발 동향

표준연구원부설 천문대 한 원 응

SPIE (The International Society for Optical Engineering)가 주최하는 천문기기 분야 (주로 광학 분야)의 국제 학술회의가 1994년 3월 13일부터 3월 18일까지 하와이에서 개최되었다. 이 글은 아주 미흡하기는 하나, 이 학회에 참석하여 논문을 발표한 경험을 바탕으로 하여 최근의 국제적인 천문 기기의 연구 개발 방향에 대한 간략한 소개를 하기 위한 것이다. 학술회의를 주관한 SPIE는 The Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers의 약자로서, 광학 및 광전자공학의 국제적인 학회인데 이번 학술회의는 미국천문학회(AAS), 태평양천문학회(ASP), 유럽천문학회(ESA)와 미국광학회(OSA) 등과 협력하여 개최되었다. 회의가 개최된 Kona는 하와이 군도 중에서 가장 큰 섬으로 화산을 배경으로 아름다운 전경과 온난한 기온이 일년 내내 계속되어 생활하기 쾌적한 조건을 갖춘 축복 받은 곳이다. 이 섬의 정상에는 (해발 4000 미터) 10 미터 Keck I 망원경이 설치되었으며, Keck II 망원경과 일본의 8미터 Subaru 망원경이 현재 설치 중에 있다. 천여 명의 참가자와 400 여 개에 이르는 논문이 발표된 이 학술회의에는 주로 미주 지역과 유럽 여러 나라, 그리고 아시아에서는 일본, 중국 등에서 많은 연구 인원이 참가하였고, 우리 나라에서는 표준연구원 부설 천문대의 대장님을 포함하여 연구원 5명이 참석하였다. 일주일 동안 진행된 이 학술회의의 공식 명칭은 Astronomical Telescope and Instrumentation for the 21st Century로서, 4개의 독립된 Conference가 열렸는데, 각 Conference의 명칭은 다음과 같다.

- * Conf. 2198 : Instrumentation in Astronomy VIII
- * Conf. 2199 : Advanced Technology Optical Telescope V
- * Conf. 2200 : Amplitude and Intensity Spatial Interferometry II
- * Conf. 2201 : Adaptive Optics in Astronomy

이 중에서 그 규모에 있어서 가장 관심을 끌었던 것은 Instrumentation in Astronomy VIII (SPIE Conf. 2198)라고 할 수 있을 것이다. 지난번 학술회의 (Instrumentation in Astronomy VII, 1990년 Tucson, Arizona) 이래 4년만에 열린 이번 회의에서는 지난번보다 양적으로 상당한 연구 발표가 이루어 졌다. 현재 천문기기학 분야의 연구 발표는 주로 SPIE에서 주관하는 이 Conference가 전세계적으로 가장 활발한 활동을 전개하고 있다. 여러 분야에서 상당수의 연구 개발 과제가 소개되었고, 지난 여름 발표된 Proceeding은 1400여 페이지의 두 권으로 나누어져 150여 편의 논문을 수록하고 있다. 이 Conference는 모두 9개의 주제별 분과(Session)로 구분하여 진행되었는데, 각 분과에서

다루고 있는 주제만으로도 현재 세계적인 천문 기기 분야의 연구 동향을 짐작할 수 있을 것이다. 다음은 Conf. 2198에서 다루었던 분과별 주제이다.

- * Optical Instrumentation/Fiber Optics
- * Optical Instrumentation
- * Optical Design
- * Infrared Instrumentation
- * Optical Detectors
- * Data Acquisition/Control Systems
- * Control Systems/Instruments
- * Space Systems
- * Applications and Image Analysis

각 분과가 다루는 주제들이 다소 중복되는 듯한 느낌도 있지만, 대부분의 광학기기와 관련된 설계연구 분야는 현재 진행 중인 4개의 대형망원경 사업과 (2개의 10m Keck, 8m Subaru, 4개의 8m ESO VLT, 2개의 8m Gemini 망원경), 이러한 망원경들의 관측 기기 설계 및 연구 개발 사업들이 주종을 이루고 있다. 광섬유의 응용을 포함하여 최근 개발된 신 기술을 응용하는 다양한 연구 목적의 분광관측기(Spectrometer, Spectroscope)의 연구 개발 사업이 발표되었다. 그 중 한 예로서 Lick 천문대에서 Keck 망원경에 사용하기 위해 개발한 HIRES(High Resolution Echelle Spectrometer)는 400만 달러의 연구 개발비를 들여 최근에 완성하였는데, 현존하는 동급의 기기 중에서는 최상의 성능을 발휘할 것으로 기대하고 있다. 적외선 sensor 분야의 연구 중에서 주목할 연구 결과는 1~5 μ 파장 영역의 1024 x 1024 InSb(Indium Antimonide) sensor 연구 개발로서, 미국립천문대(NOAO), 해군천문대(USNO)와 Santa Barbara Research Center가 공동으로 추진하고 있다. 이 연구는 Advanced Large Area Detector Development in InSb의 약자를 따서 ALADDIN Project라고 부르고 있는데, 다른 종류 재료의 적외선 sensor에 비해 최대 80%에 이르는 높은 양자 효율(Quantum Efficiency) 등의 성능으로 비추어 보아 앞으로 몇 년 안에 적외선 sensor로서 널리 사용될 것으로 예상되고 있다. 이 외에도 다양한 연구 목적의 적외선 탐지 시스템들의 연구개발 사업이 일일이 열거할 수 없을 정도로 활발히 진행되고 있다.

한편 Optical Detector 및 Control System을 주제로 다루는 분과에서는 거의 대부분의 연구가 최근의 CCD 성능을 향상하기 위한 연구라 해도 과언이 아니라 하겠다. 지난 90년 발표되었던 논문들과 비교하면, CCD를 제외한 다른 sensor 분야의 연구는 거의 없는 실정이다. CCD와 관련된 연구는 CCD sensor 자체의 양자 효율을 향상시키고 이를 더욱

넓은 여러 파장 영역으로 확대함과 아울러, pixel format을 확장하는 sensor 개발 분야의 연구와, 이러한 chip을 이용하여 더욱 넓은 반응 면적을 얻기 위한 mosaic control 기법으로 크게 나누어 볼 수 있다. 양자 효율과 자외선 파장 영역의 반응 효율을 높이기 위한 연구는 오랜동안 JPL의 Jim Janesick이 이끄는 연구팀과, 여러 천문대, 각 CCD제작 회사 등이 협동연구로서 진행되고 있으며, 계속 훌륭한 연구 결과가 발표되고 있다. 현재까지는 상용으로 제작되는 CCD의 경우 대략 2K x 2K의 pixel format이 가장 큰 것으로 사용되었으나, 최근에는 4K x 4K, 또는 그 이상의 단일 chip이 연구 개발되고 있다. 이 외에도 모자이크를 위한 확장가능한 (buttable) CCD가 많이 개발되고 있는데, 이런 CCD는 2면 혹은 3면이 서로 맞대어 이어 붙일 수 있도록 설계되어 있는 것이 특징이다.

아울러 Mosaic CCD 분야에도 주목할 만한 연구 결과가 발표되었는데, 하와이 대학과 Loral Fairchild사가 공동으로 수행하고 있는 8192 x 8192 pixel(12.3 x 12.3 cm)의 모자이크 CCD (Luppino *et al.*, 1994)는 궁극적으로 Keck 망원경에 사용하기 위한 것이고 (그림 1 참조), 역시 같은 크기의 pixel format으로 NOAO (Boroson *et al.*, 1994)에서 개발되고 있는 시스템은 KPNO의 망원경들에 사용하기 위한 것이다. 이 정도의 면적이라면 사진 건판의 크기와 비교할 만하다. Mosaic CCD를 가동하는 control electronics에 대한 연구는 Robert Leach (San Diego State Univ.)의 설계개념과, European Southern Observatory의 Reiss *et al.* (1994)에 의한 연구 결과가 가장 앞서 나가고 있다고 할 수 있다. 이 분야의 연구는 워낙 많은 연구 개발비를 필요로 하기 때문인지 세계 여러 곳에서 유사한 연구가 진행되고 있음에도 불구하고, 실용적인 연구 결과를 발표하는 곳은 그다지 많지 않은 듯하다. 필자가 발표한 "Versatile Mosaic CCD Controller Design"도 이러한 분야의 연구이고, 참고로 현재 보현산 천문대의 1.8m 망원경 CCD 카메라는 기본적으로 Robert Leach의 설계개념에 바탕을 두고 있다.

Space Systems 분과에서는 역시 Hubble Space Telescope (HST)의 관측기기에 대한 연구가 주로 많이 발표되었다. 발사 직후 문제가 되었던 HST의 구면수차를 보정하고 원래의 광학적 성능을 회복하기 위해 1993년 12월 1차 servicing mission 시에 설치하였던 COSTAR (Corrective Optics Space Telescope Axial Replacement)의 성능과 이와 관련된 각 관측기기 등의 (Faint Object Camera, Faint Object Spectrograph, High Resolution Spectrograph) 설치 전후의 성능비교 및 특성의 연구보고들에 대한 토의가 이루어 졌다. 아울러 1997년 3월로 예정된 2차 servicing mission시에 설치 예정인 근적외선 카메라 (NIC)와 Multi-Object Spectrometer (MOS)의 설계 개념과 기기특성, 사양에 대한 연구 결과가 보고되었다.

한편 1999년으로 예정되어 있는 3차 servicing mission 시에 설치할 기기들의 설계에 대한 연구개발과제 등이 활발히 토의되었는데, NASA와 Goddard Space Flight

Center를 위주로 여러 연구 기관들이 협력하여 제 3세대 허블망원경 관측 기기라고 부르는 Advanced Camera(AC)에 대한 설계 개념 연구 결과가 발표되어 많은 사람들의 관심을 끌었다. 이 기기는 하나의 카메라가 아니라, 원자외선 (1150 Å)부터 근적외선 (1 μ) 영역을 모두 관측할 수 있는 복합적인 장비로서 모자이크를 포함한 5개 이상의 특수한 CCD (2K x 2K)가 사용될 예정이다. 뿐만 아니라 이를 이용하여 연구할 수 있는 천문학 연구 과제들도 함께 제시하고 있는데, 5년 후 탑재하여 발사될 기기에 대한 연구개발 사업이 이미 상당히 진행되고 있다는 사실은 인상적이었다. 한가지 흥미 있는 사실은 이 허블망원경 탑재기기들의 연구 개발을 담당하고 있는 Space Telescope Science Institute가 발행한 자료에 수록된 기사로서, 지상 망원경에 Adaptive Optics 기술을 응용하여 얻을 수 있는 분해능과 기술개발의 비용을 허블망원경의 경우와 비교 분석한 연구 결과이다. 비용대 효과에 있어서 허블망원경이 더 나은 성능을 기대할 수 있다는 분석은 현재 급속도로 발전하고 있는 Adaptive Optics 분야에 연구 개발비를 빼앗기지 않으려는 노력으로 보인다.

UH IFA 8192 x 8192 CCD MOSAIC

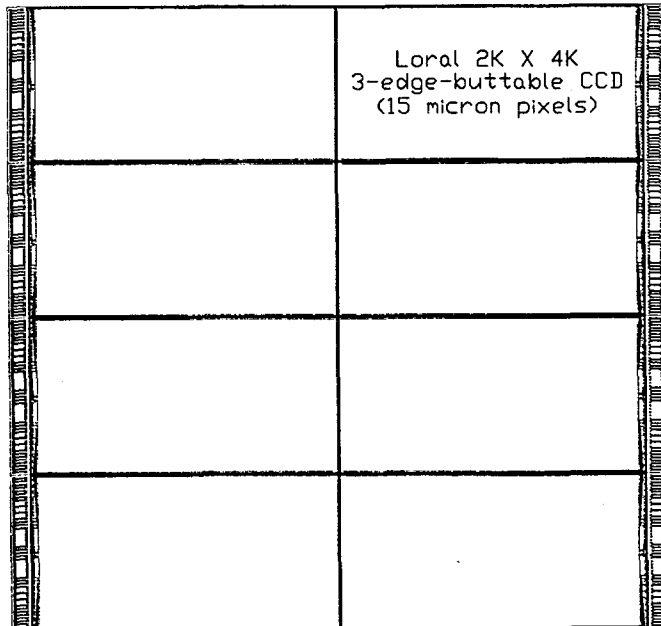


그림 1. 현재 하와이 대학, Loral Fairchild, Smithsonian Astrophysical observatory 가 공동으로 개발 중인 세계 최대 크기의 모자이크 CCD로서 거의 실제의 크기로서 8192 x 8192 pixel format이고 크기는 123 x 123mm 이다.

Image Analysis 주제 분과에서는 분광기, 허블망원경, 측광관측기 등을 이용하여 관측된 영상 자료들을 처리하고 압축 및 재생하는 Algorithm 연구들이 많이 소개되었다. 특히 CCD의 크기가 증가함에 따라 입력되는 영상자료의 양이 방대해지고 이를 적절히 처리하여 원하는 data를 효과적으로 얻어낼 수 있는 software 연구개발 등은 앞으로도 더욱 발전될 전망이다. 이 분과에서 소개된 흥미 있는 두 연구는 (영국과 호주의 공동 연구와, 미국 NOAO에서 독립적으로 수행되었음) 태양계 외부의 행성 탐지 계획으로서, 온도가 낮은 왜성이나 주계열성에 속해 있는 가스형태의 행성들이 식현상으로 인하여 나타나는 광도변화를, 장기적인 관측으로 탐사하는 관측시스템 제안과 이론적인 모델을 계산하는 작업이었다.

Instrumentation in Astronomy에 이어 개최된 Advanced Technology Optical Telescope V (Conf. 2199)에서도 약 120개의 연구 결과가 발표되었다. 첫번째 분과의 주제로 앞서 언급한 4개의 대형 망원경 건설 사업을 위주로 하여 현재 설치 중인 여러 망원경들로서 NOAO의 3.5m WIYN 망원경, 이탈리아의 Galileo 망원경 (3.5m), Magellan Telescope (6.5m, \$4,000만) 등의 현재 추진 상황과 새로운 기술개발들이 보고되었다. 두번째 분과에서는 이미 설치된 Keck I 망원경의 전체적인 성능검토, 광학적인 특성, Active Mirror 조정의 성능검증 및 지향정밀도, 추적정밀도 등에 대한 자세한 보고가 있었다. 전반적으로 1993년 말까지 설치된 Keck 망원경의 성능은 최초의 목표에 가깝게 근접한 상태지만, 아직도 Segment Mirror의 정밀 조정, 광학계의 미세광축조정 등이 더 필요하며, Active Control System의 calibration과 특히 지향정밀도의 향상을 위한 연구가 더 수행되어야 한다는 논의가 있었다. 이어서 열린 분과들에서 발표된 연구 과제의 주제들을 열거하면, 대형 거울 설계, 거울 제작과 Active Optics, 새로운 개념의 망원경 설계, 망원경 구조분석 연구, Seeing과 관련한 망원경의 성능향상 연구 등이 소개되었다. 이 중에서 미국의 여러 대학이 협동 연구로 수행하는 Sloan Digital Sky Survey Monitor Telescope System이라는 프로젝트는 북반구 하늘에서 외부 은하와 Quasar의 적색편이를 관측하기 위해 2.5m의 특수한 망원경에 광섬유로 유도한 분광기와 모자이크로된 30개의 CCD 카메라로 장기적으로 탐사하려는 계획은 많은 참석자들의 큰 관심을 끌었다.

Adaptive Optics in Astronomy는 (Conf. 2201) 마지막 이틀 동안 개최되었는데, 관련된 120여 편의 논문이 발표되었고 1000 페이지 분량의 Proceeding에 수록되었다. Adaptive Optics는 천체관측 시에 지구대기의 효과를 실시간(real time)으로 보정함으로써 궁극적으로 지상관측의 이론적인 분해능 한계를 극복하고자 하는 관측 기술로서 특히 파장이 긴 적외선 영역에서 효과적이다. 최근 수년 동안 이 분야의 연구는 여러 개의 8m 급의 대형 망원경 건설과 관련하여 급속한 발전이 이루어졌다. 그러나 이를 실제로 구현하기 위해서는 매우 복잡한 기계공학, 전자공학, 광학, 간섭계 등의 전문적이고도 통합적인 연구가 필요하게 된다. 이 글에서 수많은 연구 결과를 다루기는 불가능하므로 각 분과별 주제를 소개함으로써 간략하나마 어떠한 내용에 대한 연구들이 이루어지고 있는지 짐작할 수 있을 것이

다.

- * Science and Performance Results
- * Theory, Performance Analysis, and Simulation
- * Atmospheric Characterization and Simulations
- * Laser Guide Star Experiments and Results
- * Large Active Telescope Systems
- * Wavefront sensors
- * Signal Processing and Reconstruction
- * Deformable Mirror Components
- * Active Mirror Components
- * Control Systems and Optimization
- * General Science, Astronomy Programs

이와 같이 외국에서는 천문기기의 여러 분야에서 활발한 연구개발이 이루어지고 있다. 그러나 이 글에서 소개한 것은 단지 일부의 간략한 소개일 뿐더러 한 개인의 주관적인 견해이므로, 보다 객관적이고 자세한 내용은 SPIE에서 발행하는 Conference Proceedings Vol 2198, 2199, 2200, 2201 등을 참고하기 바란다. Conf. 2200에서 다루었던 주제는 주로 광학간섭계의 내용으로서 60여 편의 연구가 발표되었는데, 여기서는 생략하였다. 자세한 내용은 Proceeding Vol 2200에 수록되어 있다. 일주일간 진행된 이 학술회의에서 다루어진 내용은 현재 세계적인 천문기기 분야와 관련된 연구개발 방향을 그대로 반영하는 것이라 하겠다. 이를 간단히 요약하면 첫째로 광학기기 분야에서는 주로 특정한 연구 목적의 고분산분광기 개발, 적외선 탐지 sensor와 관측 시스템 연구 개발, 둘째로 CCD 분야에서는 양자효율 향상과 특수 처리에 의한 반응과장 확대 연구, mosaic에 의한 반응면적 확대와 control 기술 개발, 셋째로 망원경 분야에서는 허블망원경과 관련된 우주관측 기술과 관측기기 연구 개발 및 대형 광학망원경 제작과 관련기술 개발, 넷째로 Active Mirror와 Adaptive Optics를 응용한 시스템 연구개발과 간섭계 및 wavefront sensor 기술개발, 다섯째로 위와 관련한 여러 분야의 software 연구 개발로 정리할 수 있을 것이다.

이 학술회의에 참가하고 받은 인상은 우리 나라의 현실에 비추어 보아, 그 엄청난 규모와 연구 개발비에 있어서 우리와 너무나 많은 차이가 있어서 큰 거리감을 느꼈다는 사실을 인정하지 않을 수 없었다. 그러나 우리도 간단하고 큰 비용이 들지 않는 관측 시스템부터라도 우리 역량으로 직접 설계, 제작하여 실제 관측에 사용함으로써 이 분야의 경험을 축적하고, 주어진 여건 안에서 최대의 효과를 얻을 수 있는 관측 기술 연구 개발에 투자해 나간다면, 아직 너무 늦지는 않았을 것이라고 믿는다.