

적응광학시스템

Adaptive Optics System

이준호

한국과학기술원, 인공위성연구센터

jhl@satrec.kaist.ac.kr

I. 서론

적응광학은 넓은 의미로 실시간으로 빛을 제어하는 분야를 의미하며, 천문학 관련 분야에 제한하면 대기에 의해 왜곡된 빛의 파면을 실시간으로 보정시켜주는 기술을 의미한다¹⁾[1,2]. 적응광학은 대기과학, 광학분야, 광전자분야, 전기분야, 기계분야 등의 복합학문²⁾으로 1950년 Backcock[3]에 의하여 제안된 후 1970~80년대 미소에 의해 고에너지레이저(HEL, High Energy Laser)와 위성추적시스템의 구성요소로 개발되었다 1980년 일반에 공개되었다. 공개된 후 분야로는 천문학이 가장 많은 관심과 노력을 기울여 현재 세계 우수 대형 망원경 시스템은 모두 적응광학을 적용하여 대기의 효과를 상당부분 제거하여 대기 밖의 허블우주망원경에 버금가는 천문 관측을 수행하고 있다. 1990년대 말 천문학의 성공적인 적응광학의 적용에 자극을 받은 학계는 적용 분야에 확장에 많은 연구를 수행하고 있으며, 현재 우주 전개망원경, 안과용 광학 시스템, 산업용 고출력 레이저, 잠수함용 통신 시스템, 위성-지상간 광통신 시스템 등의 많은 분야에서 연구가 진행되고 있다. 현재 우리나라에서도 적응광학의 적용에 대하여 천문학, 원자로 영상 광학계, 인공위성 광학계, 고출력레이저, 인공위성 및 지구근접물체 관측 시스템 등의 많은 분야에서 관심을 가지고 있으며, 관련 연구를 수행하고 있다.

본 발표에서는 적응광학 시스템, 수차 발생 요인 및 특성, 파면 측정, 레이저 가이드 스타, 파면 보정, 제어 등 적응광학 및 서브시스템 소개와 함께 국내 관련 분야에 적응광학 적용 시 성능 향상을 보여준다. (본 요약문은 발표에 있을 내용의 간략한 소개만을 하며, 자세한 내용은 강의요약서에 정리해 놓았다.)

II. 본론

1. 적응광학시스템

적응광학시스템은 일반적으로 다음의 4개의 서브시스템으로 이뤄져 있다; 1) Reference/Guide Star (구성요소에서 제외되기도 한다.), 2)파면측정기 (Wavefront Sensor), 3)파면보상기 (Wavefront Correction Device), 4)제어 시스템. 간혹 측정된 영상으로부터 직접 파면의 왜곡을 계산하여 파면측정기를 시스템에서 제외한 경우도 있고, 각각 1개의 파면측정기, Tip/Tilt 거울과 변형 거울을 사용하는 전형적인 시스템과는 달리 여러 개의 파면측정기, 변형거울을 사용하는 Multi-conjugate 시스템도 이용되고 있다.

1) 작동 주파수가 10Hz이상인 것은 적응광학(Adaptive Optics)으로 그 이하인 것은 능동광학(Active Optics)로 정의하기도 한다[2].

2) 광학분야: 수차이론, 결상이론, 간섭계, Wave propagation through random media 등, 광전자분야: 광자검출기 등, 전기 및 전자분야: 데이터 처리 및 서보 시스템 구성 등, 기계분야: 변형 거울 및 광기계 분야 등

2. 파면 수차 발생 요인 및 특성

빛이 통과하는 매질 특성의 변동에 의해 파면 수차가 발생한다. 각 적용 분야에 따라 매질 및 그에 따른 특성이 달라지나 그 매질이 유체 난류의 특성을 갖고 있는 한, 현재까지 지구 대기 난류에 대한 연구가 수정 적용될 수 있을 것으로 보인다. 난류 효과는 크게 빛의 강도 및 위상 변화로 나눌 수 있으며, 위상 변화는 다시 단순한 초점의 이동과 상의 찌그러짐으로 나누어 생각할 수 있다.

대기효과의 경우 단일 렌즈 효과로 봤을 때 렌즈 크기를 의미할 수 있는 Fried Parameter r_0 또는 시상 (seeing), 보정 유효 범위 Isoplanatic Angle θ_0 , 보정 유효 시간 Greenwood Time τ_0 등으로 표현될 수 있다. 또한, 대기 효과에 의해 발생하는 수차를 제르니키 다항식으로 분해하여 시스템 분석에 사용하기도 한다.

3. 가이드 스타

적응광학은 빛이 통과하는 난류에 의하여 발생하는 파면의 왜곡을 연속적으로 제거, 보상시켜주는 시스템이다. 연속적인 파면의 보상을 위하여 파면의 계속적인 측정이 필요하고, 이러한 파면의 측정을 위하여 파면의 왜곡을 측정할 수 있는 빛이 필요하게 된다. 이렇게 파면측정용 빛을 제공하는 광원을 천문의 경우 Reference/Guide Star라고 한다. 천문의 경우 관측 대상으로부터 일정한 측정각(Isoplanatic angle)이내에 광원이 될 수 있는 충분한 밝기의 별이 있으면 Natural Guide Star(NGS)라하고 이 별을 사용하지 않지만, 많은 경우 관심 있는 대상 주변에 충분히 밝은 별이 존재하지 않기에 인위적으로 가상의 별(Artificial Guide Star)을 만들어 사용하기도 하는데, 이러한 인위적인 별을 레이저를 사용하여 만들기에 Laser Guide Star(LGS), Laser probe, Laser Beacon라 한다[4]. LGS는 크게 고도 20km 이하에서 발생하는 Rayleigh Diffusion을 이용하는 경우와 고도 90 ~ 100km에 위치한 나트륨 원자의 자연방출(Sodium resonance)을 이용하는 경우로 나뉜다. 하지만, LGS를 사용한다하더라도 Focal anisoplanatism 및 image determination problem 때문에 적어도 tip/tilt를 측정하기 위한 추가의 NGS를 필요로 한다.

4. 파면 측정기 (Wavefront Sensor)

적응광학이 적용되는 대부분의 경우 입사되는 난류에 의한 왜곡이 없다면 입사파면이 평면파로 고려될 수 있으며, 이러한 특성을 이용하여 파면을 측정하는 것이 파면측정기(Wavefront Sensor, WS)이다. 파면측정기로는 크게 1) Shearing interferometer, 2) Shack-Hartman WS, 3) Curvature WS, 4) the pupil-imaging wavefront gradient sensor로 나눌 수 있다.

5. 파면보상기 (Wavefront Corrector)

파면보상기는 파면의 왜곡에 상응하는 광경로 또는 빛 전파 속도에 변화를 주는 역할을 한다. 파면보상기에는 크게 거울을 사용하는 Segmented Mirrors, Continuous Thin mirror, Bimorph/membrane mirror와 액정을 이용하여 빛의 위상을 변화시키는 액정빔변조기가 있다. 현재에는 변형가능거울(DM, Deformable Mirror)을 이용한 것이 가장 많이 그리고 성공적으로 사용되고 있다. 통상의 경우 Tip/tilt와 같은 강체 운동만을 제공할 수 있는 Tip/tilt mirror와 고차의 왜곡을 생성할 수 있는 고차 변형 거울 각각 사용하지만, 카세그레인 망원경에서 부경을 변형거울로 사용함으로써 하나의 변형거울 만으로 Tip/tilt와 고차 수차를 동시에 제거하는 것이 가능하게 되었다.

6. 제어 시스템

제어시스템은 유한하고 에러가 있는 파면측정으로부터 파면보상기에 최적의 신호를 제공하여야한다. 대기의 조건에 따라 다르지만, 제어시스템은 가시광선영역에서 1000Hz까지 작동할 수 있다. 대개의 경우 계산량이 많아 독립적인 제어시스템을 구성한다. 제어시스템은 크게 Modal과 Zonal로 나눌 수 있으며, Modal Control의 경우 파면의 정보를 Zernike polynomial과 같은 일정한 기저함수들의 선형 합으로 표현하고 각 모드에 대응하는 제어 신호를 발생/제어하는 반면 Zonal의 경우 파면보상기의 각 구동소자 위치에 대응하는 신호를 발생/제어한다. Actuator의 개수가 충분한 경우 Zonal과 Modal의 차이는 실질적으로 존재하지 않는다.

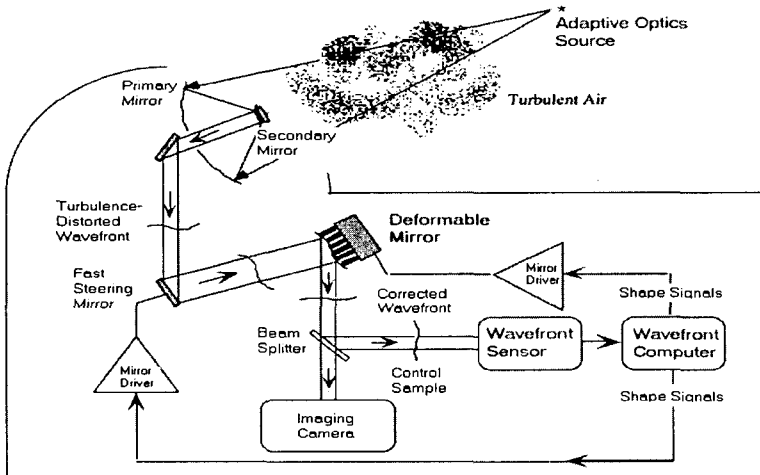


그림-1: 적응광학의 개념도

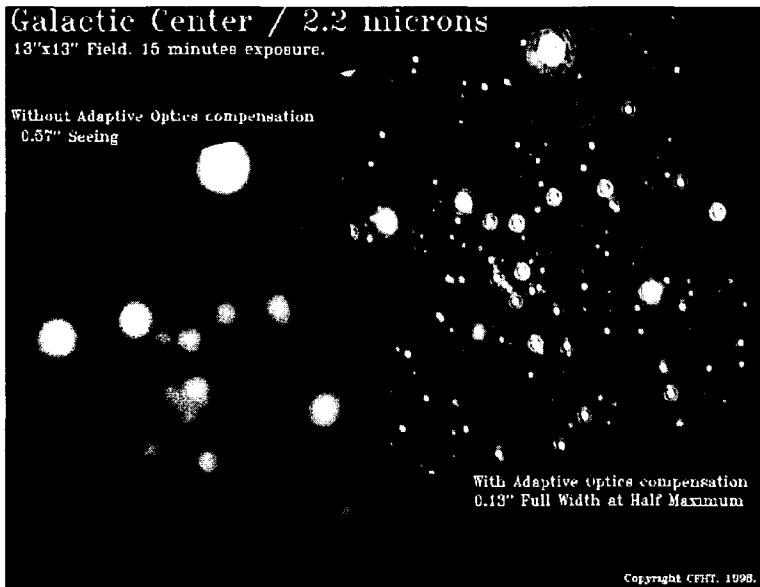


그림-2: 적응광학 전후의 천문관측 사진

참고문헌

[1] J.M.Beckers, "Adaptive Optics for Astronomy: Principles, Performance and Applications", Annual Review of Astronomy and Astrophysics, Vol. 31, pp. 13-62, 1993
 [2] R.N. Wilson, F. Franza, L.Noethe, J. Mod. Opt. 34,4 1987
 [3] H.W. Babcock,"The possibility of Compensating Astronomical Seeing", Pub. of the Astronomical Society of the Pacific, Vol. 65, pp. 229-236, 1953