배율 3.5X 의료용 망원경의 설계 및 제작

Design & Manufacturing of Surgical Telescope with 3.5 times magnification.

이호찬, 김재순, 이재형, 이하덕*
서울대학교 물리학과, * Xenosys. Co.
channy64@photon.snu.ac.kr

일반, 혹은 신경외과 의사가 작은 수술부위의 구멍을 통해 미세한 혈관수술 등을 할 때, 혹은 치과의사가 환자의 입을 통해서 입 속을 치료할 때, 수술 혹은 치료를 하는 대상의 크기는 굵은 혈관의 경우 지름이 30~40㎛, 치아 속 신경의 역시 굵은 경우에 2.8㎛ 에 지나지 않는다. 그러나 일반적인 눈의 분해능은 1분인데, 이는 40cm의 거리에 있는 0.06mm 크기의 물체(9lp/mm)를 구분하는 능력이다.[1] 특별한 광학장비 없이 물체에 가까이 감으로써 시력을 향상시킬 수는 있지만 단순히 가까이 다가가는 것만으로는 수술과 같은 섬세한 임상작업을 하는데는 제한이 많고, 특히 작은 구멍이나 좁은 관을 통해 가까운 물체를 볼 때는 양안 시차의 불일치(stereofocusing) 문제가 발생한다.

이 문제의 해결을 위한 첫 번째 방법은 수술용 현미경을 사용하는 것이다. 그러나, 이 수술용 현미경은 너무 부피가 크고 무거워서 이동을 하거나 사용하기에는 약간은 번거로울 뿐만 아니라 의사의 활동성을 제한하고 장시간 사용 시 눈의 피로를 유발할 수 있다. 두 번째 방법은 갈릴레이 망원경의 대물렌즈에 줌 렌즈방식 초점거리 가변형 중거리용 망원경(telemicroscope)을 사용하는 것이다. 그러나 이 방법 또한 망원경을 사용자의 눈에 배열할 때 상의 왜곡이나 선명도 감소 등의 영향이 생긴다. 또한 상기한 방법들은 수술 시에 착용하기에는 너무 무거운 단점도 있다. 결국 의사들은 수술 혹은 치료 시에 장시간 착용에도 무리가 없고 활동성이 좋으며, 선명하게 확대된 상을 제공해 줄 수 있는 의료용 도구, Surgical Telescope(이하 ST)를 필요로 하게 된다.

ST는 사용자가 쉽게 착용하고 자유롭게 움직일 수 있도록 일반적으로 착용하는 안경처럼 만들되 개인의 특성에 맞게 제작되어야 한다. 즉, 개인마다 눈 사이의 거리, 즉 눈간 거리(IPD : inter pupillary distance)가 다르고, 사용자가 작업하기에 가장 편안한 거리, 즉 작업거리(working distance)도 개인마다 다르며, 눈의 경사각도(declination angle)와 수렴각도(convergence angle)역시 개인차가 있기 때문에, 사용자에 맞는 설계를 해야한다. 또한, 사용자가 이미 가지고 있는 난시나 원, 근시 등도 설계 시 고려요소에 포함된다.

3.5배의 ST는 눈의 일반적인 분해능을 기준으로 광축 중심에서 40cm 거리 기준으로 대략 0.016mm 정도의 물체(32p/mm)를 구분할 수 있어야 한다. 상면왜곡은 눈의 피로와 물체의 상대적 크기 판단 등에 혼돈을 일으킬 수 있으므로 작을수록 유리하다. 시계가 클수록 머리를 돌릴 필요 없이 안구의 이동만으로 대상물을 볼 수 있으며 시원한 화면을 접할 수 있다. 안경테는 시준을 충분히 유지할 수 있을 정도의 강성을 가져야 하며 재료의 무게 및 착용편의성을 고려하여야 한다. 마지막으로 사용자의 변할 경우 쉽게 재조정될 수 있어야 한다.

일반적인 망원경은 갈릴레이식과 케플러식의 두 가지 형태가 있다. 갈릴레이식은 대물렌즈로 상을 모아서 중간 상을 맺지 않고 접안렌즈를 통해 눈으로 들어오는 방식으로, 시야가 좁고 통상 3×의 배율을 넘지 못하는 단점이 있으나 가볍고 작기 때문에 오페라 글라스나 스포츠 글라스 등에 많이 쓰인다. 케플러식은 경통 내부에 도립 중간상을 맺는 방식으로 프리즘과 같은 상 역전 장치를 사용해야 하기 때

문에 무거운 단점이 있으나 갈릴레이식 보다 시야가 넓고 높은 배율을 얻을 수 있는 장점이 있다.(2)

ST는 용도에 따라 다른 방식의 망원경을 이용하는데 3.5배의 경우 대부분 케플러식을 적용하고, 목표 성능을 만족하면서 무게를 최소화하는데 설계의 주안점이 있다. 그림.1은 설계된 광학계의 형태이며, 그림.2는 과학 성능을 나타낸다.

ST의 제작을 위해서는 광축을 정렬하기 위한 프리즘 조절기, 대물렌즈부를 조절하여 망원경의 초점거리와 사용자의 작업거리를 일치시키기 위한 초점조절기, 안경에 ST를 부착하기 위해 안경렌즈에 ST의 직경과 일치하는 구멍을 뚫기 위한 천공기, 좌우 망원경이 맺는 상이 정확하게 일치하도록 수렴각도를 조절하고, 사용자의 눈간 거리와 일치하도록 망원경을 배치하기 위해서 광축 조절기 및 배율, 분해능 시험기 등의 여러 가지 조립 및 측정 장치에 관한 연구도 필수적이다. 그림.3은 이렇게 완성된 의료용 망원경의 사진이며, 일반 망원경을 근거리 망원경으로 수정한 경우의 성능을 비교해 본 결과 그 성능이 월등히 좋았으며, 현재 수입되는 세계 유명제품들과 비교하여 많은 항목에서 동등 이상의 성능이 확인되었다. 앞으로의 연구과제는 적절한 시야확보를 위해 의료용 망원경과 같은 축 상에 조명(co-axial illumination)을 부착해서 최대의 정확한 시야를 확보하는 것이다. 이는 수술시 그림자를 제거해주고, 머리위의 수술조명의 필요성의 없애준다. 광원으로는 광섬유를 이용한 조명을 생각해 볼 수 있다.

그림.2-1 렌즈 계의 형태

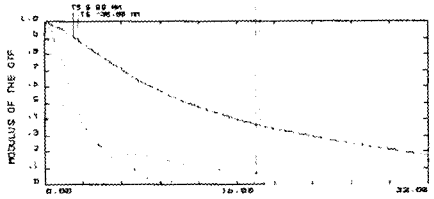

그림.1-1 분해능 그래프

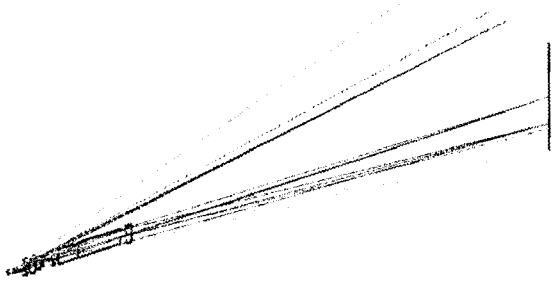

그림.1-2 물체와 상을 포함한 전체 시스템의 형태

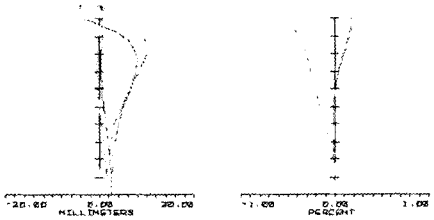

그림.2-2 상면 만곡과 왜곡

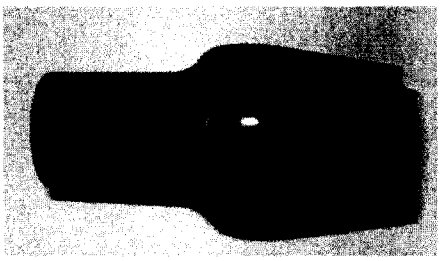

그림.3-2 제작된 ST의 측면 모습

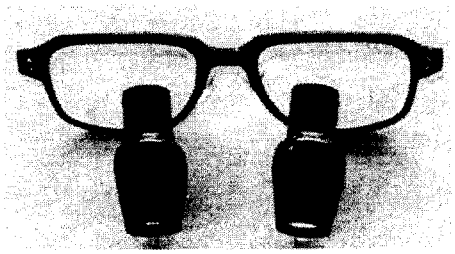

그림.3-1 안경에 장착된 ST의 모습

(1) Visual Instrumentation by Pantazis Mouroulis

(2) Handbook of Lens Design by Daniel Malacara & Zacarias Malacara P579