

X-ray Imaging 기법을 이용한 생체내부 유동의 가시화

김국배* · 김양민* · 이상준**

1. 서 론

X-선이 어떤 물질에 입사될 때 파장은 변하지 않으나 X-선의 세기가 약해진 X-선이 투과되어 나온다. 이때 X-선이 흡수되는 정도는 X-선의 파장과 그 물질(시료)을 구성하는 원자의 종류와 배열, 그리고 화학 결합 상태 등에 따라 달라지게 된다. 생명체를 대상으로 한 X-선 투과시에도 마찬가지로 X-선의 단파장광을 얼마나 잘 선택하느냐에 따라 투과력은 크게 달라지게 되며, 또한 질이 좋은 광원을 사용할수록 분해능을 높일 수 있게 된다. X-선의 질이 얼마나 좋으냐는 분광휘도(spectral brightness)라는 용어로 설명하는데, 원하는 파장에서 파장폭이 좁고, 광의 세기가 클수록 그리고 빛의 퍼짐이 작을수록 분광휘도는 큰 값을 갖는다. 방사광 가속기 X-선의 분광휘도는 병원에서의 의료용으로 사용하고 있는 X-선보다 훨씬 크며 종전의 X-선 장치와 비교했을 때 10000 배에서 경우에 따라서는 1 억배까지 큰 값을 갖는다. 그 중 제 3 세대 방사광은 분광휘도가 매우 크며, 광원의 크기가 작기 때문에 매우 작은 크기(100nm 이하)로 집속이 가능하여 이용면에서 큰 장점이 된다. 포항가속기(PLS, Pohang Light Source)는 제 3 세대 방사광에 속한다.

한편, 질이 좋은 단파장광에 최근에 빠른 속도로 발달하고 있는 X-선 광학기술을 이용하면 고분해능의 X-선 현미경 영상을 얻을 수 있다. 또한 방사광의 X-선을 원하는 단색광 파장에 정확히 맞출 수 있게 되면, 세포와 같은 생물 조직체를 건조, 염색, 절단 등의 과정을 거치지 않고 살아있는 생체 내부에 대한 투과 현미경 영상을 얻을 수 있다. 이것은 생명 조직체를 투과하면서 내부 조직의 모든 경계 정보를 실시간으로 가시화할 수 있다는 것을 나타낸다. 이것은 종전의 전자현미경이나 광학 현미경 등으로는 불가능한 것이다. 또한 X-선의 파장영역이 수 Å 크기의 값을 가지므로 X-선 확대기술을 이용하게 되면 생체 내부를 Å 단위의 분해능으로 가시화할 수 있게 된다.

현재 병원에서 의료용으로 사용되는 X-선은 X-선의 많은 가능성 중 매우 제한된 장점만을 이용한 것으로, 대상 물체 내부의 밀도변화에 따라 X-선이 투과되는 양을 흡수대비(absorption contrast)기법으로 나타낸 것이다. 따라서 뼈와 같이 상대적으로 높은 밀도를 갖는 물질은 X-선이 투과하지 못하여 X-선 필름에 흰색으로 표현되며, 나머지 조직 등은 X-선이 대부분 투과되어 검은색으로 나오게 된다. 이와 같은 X-선 영상기법으로는 뼈 뒷면에 있는 물질의 정보는 얻을 수 없을 뿐더러, 뼈 내부의 자세한 정보 역시 명확하게 얻기가 힘들다. X-ray CT는 여러 각도에서 흡수대비된 정보를 획득하고 이를 재조합으로써 인체 내부의 단면 영상 정보를 얻게 된다. 따라서 엄밀한 의미에서 X-ray CT로는 물체 내부 구조를 실시간으로 구성하는 것이 불가능하다.

앞으로 X-선의 특성을 잘 이해하고 적절하게 응용하여, 인체 내부구조에 적합한 단파장광 X-선 광학기술을 개발 및 조합한다면 인체 내부 구조를 더 높은 분해능으로 그리고 실시간으로 가시화할 수 있을 것으로 예상된다. 본 연구에서는 방사광 X-선을 이용한 생체 내부 영상 기술 개발에 대해 소개하고, 그 과정에 나타난 문제점들을 토의하고자 한다.

2. 본 론

본 연구에 사용된 X-선은 포항가속기연구소에서 제공하는 빔으로, 적외선부터 경 X-선(0.01-3Å 파장영역)영역을 걸치는 white beam 과 분광기(monochromator)를 통과한 8keV(약 1.5 Å 파장영역) 단파장 영역의 빔(mono beam)을 사용하였다. White beam 은 광의 세기는 매우 강하나 파장영역이 광대역이라 좋은 빔이라 할 수 없고, mono beam 은 white beam 의 파장영역 중에서 가장 세기가 큰 파장영역의 빛만을 뽑아 낸 것으로 질이 좋은 단파장광임에 반해 광의 세기가 white beam 에 비해 상대적으로 약한 단점을 가지고 있다. 본 연구에서는 높은 투과력이 요구되는 물체의 경우 white beam 을 사용하였으며, 생물체를 대상으로 고분해능이 요구되는 실험에서는 mono beam 을 사용하였다.

Fig.1 은 본 연구에서 사용되어진 실험장치를 보여준다. 입사된 X-선은 대상(model)을 통과한 후

* 포항공과대학교 기계공학과 대학원

** 포항공과대학교 기계공학과 교수

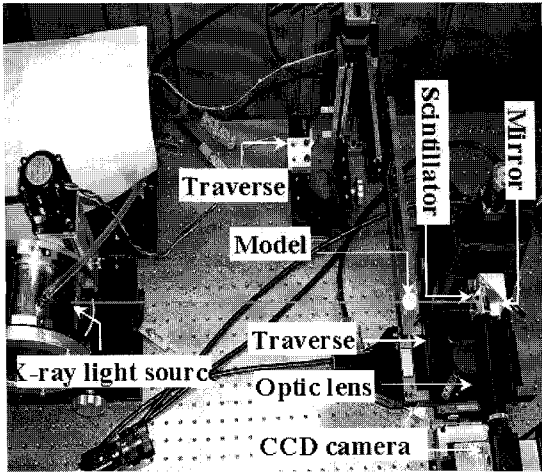


Fig. 1 Experimental setup of X-ray imaging at PLS

scintillator 에 도달하게 되고, scintillator 는 입사된 X-선을 가시영역의 빛으로 형광시키는 역할을 하게 된다. 가시광선으로 형광된 빛은 mirror 에 의해 반사되어 CCD 카메라로 들어가게 된다. 방사광에서 나오는 X-선은 병원에서 의료용으로 사용되는 X-선에 비해 훨씬 우수한 것으로 흡수대비법이 아닌 위상대비(phase contrast)법에 의해 물체를 이미징하게 된다. 물체를 투과하는 빔은 물체 내부 여러 조직의 경계면에서 미세한 굴절율의 차이를 가지게 되고, 이로 인해 경계면에서 간섭패턴이 발생하게 된다. 따라서 위상대비법을 사용하게 되면 X-선이 물체를 투과하면서 내부 조직들의 경계면만이 간섭패턴에 의해 짙은 색으로 관측된다. 따라서 밀도가 높은 물질 후방에 놓인 밀도가 낮은 물질도 측정이 가능하게 된다.

본 연구에서는 주로 mono beam (8keV)을 사용하여 여러 가지 생체 내부를 가시화했다. Fig.2 (a)는 병원에서 사용하는 X-선으로 관측한 사람 손의 사진이며(흡수대비법), (b)는 방사광 X-선을 이용한 물고기(zebra fish) 꼬리뼈의 사진(위상대비법)이다. 그림 (b)는 (a)에 비해 경계선부분만 짙게 이미징되며, 꼬리뼈 중앙의 두꺼운 부분을 통과하더라도 흡수에 기인하여 어두워지는 현상이 나타나지 않음을 알 수 있다.(측정영역:0.8mm x 0.8mm) Fig. 3 은 개미의 허리부분을 관측한 것으로 측정영역은 0.4mm x 0.4mm 이며, 수 마이크로 단위의 미세한 내부구조까지 이미징됨을 볼 수 있다. Fig. 4 는 쥐 귀 부분의 혈관을 관측한 것으로, 혈류의 유속을 가시화하려 했으나 혈액과 혈구의 위상 차이가 크지 않아 혈구를 tracer 입자로 사용하기 어려웠다. (측정영역 : 0.8mm x 0.8mm)

혈구의 움직임을 가시화하기 위해 object 와 scintillator 사이의 거리를 점차 멀게 함으로써 phase contrast 에

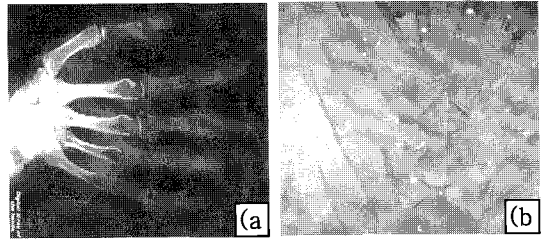


Fig. 2 Difference of absorption contrast image (a) and phase contrast image (b).

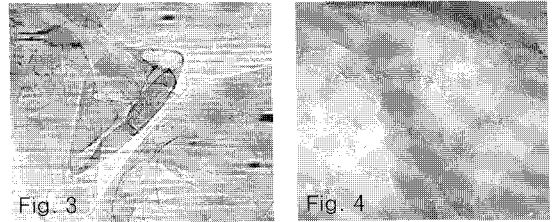


Fig. 3 Image of Ant's waist by phase contrast method
Fig. 4 Image of blood vessel at mouse's ear by phase contrast method.

의한 간섭패턴이 커지도록 유도하였다. 테프론 재질의 미세 튜브에 혈액을 흘려보내고, 혈액유동 (object)과 scintillator 간의 거리를 약 90cm 정도 두었을 때, 튜브 내 혈구가 흘러가는 영상을 얻을 수 있었다. 이것은 혈액을 구성하고 있는 혈구 등을 직접적으로 관측한 것이 아니라 혈구에 의한 간섭 무늬를 영상화한 것이다. 향후 X-선의 위상대비 방식을 보다 잘 이해하고 관련기술을 개발한다면, 생체내부의 혈류 유동을 직접적으로 가시화할 수 있을 것이다.

3. 결론

본 연구에서는 양질의 방사광 X-선을 이용하여 위상대비법으로 여러 생체 내부구조를 관찰하였으며, object 와 scintillator 의 거리를 증가시켜 X-선의 간섭패턴이 커지도록 유도함으로써 혈구의 유동을 가시화하였다.

후 기

본 연구는 POSRIP(POSTECH Research Initiative Program) 사업 지원에 의하여 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Spanne, P., et. al., 1999, "In-line holography and phase-contrast microtomography with high energy x-rays" Phys. Med. Biol., Vol. 44, pp. 741~749.