

임상진단용 X-ray PIV 시스템의 기초개발

임대현*, 김국배*, 김도일**, 이형구**, 이상준*

Preliminary Development of Medical X-ray PIV System for Clinical Diagnosis

DH Yim*, GB Kim*, DI Kim**, HK Lee** and SJ Lee*

1. 서론

심혈관계 질환은 서구에서 현재 사망률 1위를 차지하며 한국에서도 점차 증가하는 추세에 있다. 이러한 순환기 질환을 제대로 진단하고 치료하기 위해서는 순환기 질환 관련유동을 체계적으로 해석할 수 있어야 하며 혈관조영술이 주로 사용되고 있는데, 초음파 도플러 기법은 각도 의존성과 점측정 기법이라는 한계로 인해 그 이용범위가 제한되고 있으며 오차도 큰 단점이 있다. MRI 기법은 고가이고 다소 사용이 불편하며 시간분해능이 낮아 실시간 진단 및 질환 모니터링이 어려운 단점이 있다. 혈관조영술은 주로 혈관의 형상 정보나 조영제의 이동경로만을 제공함으로써 순환기 질환관련 혈액유동에 대한 정확한 유동정보를 제공하기에는 미흡하다.

이러한 기존 진단기법의 한계를 극복하기 위한 방법의 하나로 X-ray PIV 기법이 개발되었다. X-ray PIV기법은 디지털 X-ray 영상기술과 디지털방식의 유동장 해석 기법인 PIV(Particle Image Velocimetry) 속도장 측정기법을 조합한 것으로서 불투명한 샘플 내부 유동의 정보를 높은 해상도로 정확하게 측정할 수 있는 장점을 갖고 있다. 하지만, 기존에 연구된 X-ray PIV기법은 방사광 가속기에서 수행된 것으로서, 이용하는데 많은 제약이 따른다. 이를 극복하기 위해서는 의료용으로 사용되는 X선관을 X-ray PIV기법용 광원으로 사용하는 것이 필요하다. 이를 위해, 본 연구에서는 임상용 X선관과 새로운 타입의 X선 카메라와 함께 이중펄스를 발생시키는 X-ray PIV전용 노출제어장치를 개발하여 새로운 개념의 임상용 X-ray PIV 시스템의 개발을 시도하였다.

2. X-ray PIV 시스템 구성요소

Fig. 1은 의료용 X선관을 사용한 X-ray PIV시스템의 개략도이다. 이 시스템은 크게 디스크 회전방식의 X선 노출제어장치, X선관, X선 카메라와 동기화 장치로 나눌 수 있다.

X선관에서 나오는 단일펄스 출력으로부터 PIV기법에 적합한 이중 펄스형태로 나누어주기 위해, 별도의 노출제어장치를 개발하였다. 이 장치에는 납으로 제작한 링을 두 개의 틈새(slots)를 두고 디스크에 매설하였는데, DC 서보모터가 회전함에 따라 X선이 짧은 시간간격으로 두 번 통과하게 된다. 이때, 통과되는 X선의 노출시간과 그 간격(Δt)은 틈새의 폭과 간격, 디스크의 회전속도에 의해 결정된다. DC 서보모터에는 2개 채널의 엔코더가 장치되어 있으며, 각각 회전수 측정 및 동기목적으로 사용되어진다. 측정된 회전수는 피드백 제어용으로 사용하여, 정확한 노출시간과 시간간격(Δt)의 이중 X선 펄스가 발생하도록 하였다.

시스템에 사용된 X선관은 선명한 입자영상을 얻기 위해 의료용으로 사용되는 제품 중 가장 작은 focal spot을 가지고 있는 제품을 사용하였으며, X선관 제어 장치의 외부스위치 단자에 포토커플러(photo coupler) 소자를 연결하여 동기장치로부터의 TTL신호에 X선 방사가 동기화되도록 하였다.

X선 카메라는 일반적인 가시광용 CCD PIV카메라의 센서표면에 CsI scintillator를 직접 부착한 제품을 사용하였다. 이 카메라는 종래의 Optical coupling 방식에 비해 광량의 손실이 적고 CsI 결정구조의 특성상 높은 공간해상도를 갖고 있다.

* 포항공과대학교 기계공학과

** 가톨릭대학교 의공학교실

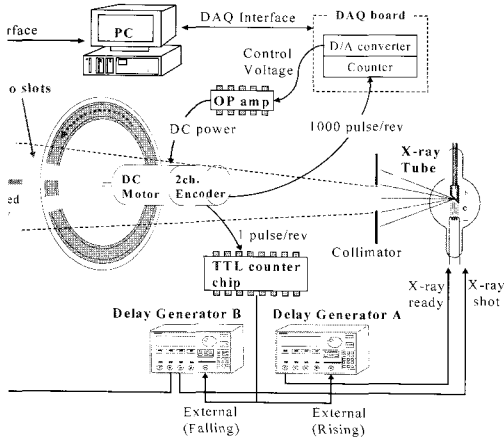


Fig.1 Schematics of X-ray PIV system

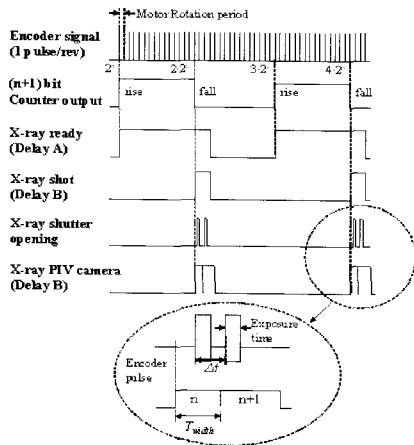


Fig.2 Synchronization of X-ray PIV system

Fig.2 는 X-ray PIV시스템의 동기화 방법을 나타낸 것이다. X선 노출제어장치로부터 나오는 엔코더 출력 신호에 카운터 소자를 연결하여 그 출력의 변화에 따라 X선관과 X선 카메라가 동기되도록 하였다.

3. 성능시험 및 결과

구축된 X-ray PIV 시스템의 성능을 검증하기 위해 이를 원관 내부를 흐르는 글리세린 유동에 적용하였다. X선 입자영상을 얻기 위한 추적입자로 직경이 약 20 μm 인 tungsten (VI) oxide powder를 사용하였으며, syringe 펌프를 사용하여 내경이 4 mm인 불투명한 실리콘 튜브에 1 mm/s의 평균유속이 생성되도록 하였고, 실험결과 얻은 영상과 그 처리과정을 Fig.3에 나타내었다.

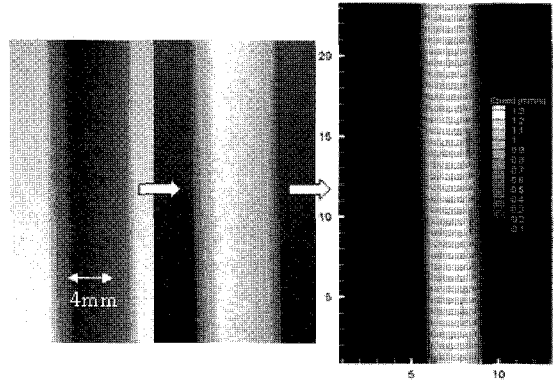


Fig.3 Raw X-ray image, inverted image and its

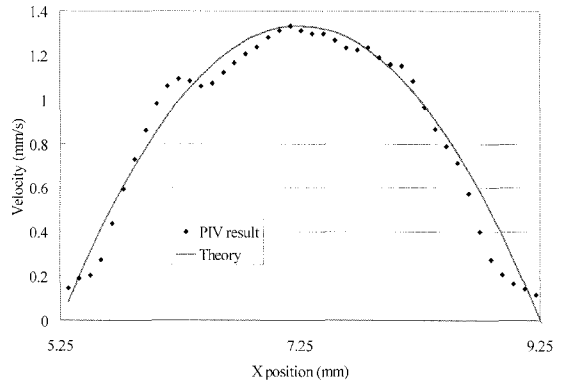


Fig.4 Amassed velocity profile and PIV result

syringe 펌프를 사용하여 내경이 4 mm인 불투명한 실리콘 튜브에 1 mm/s의 평균유속이 생성되도록 하였고, 실험결과 얻은 영상과 그 처리과정을 Fig.3에 나타내었다.

가시광의 산란이나 반사, 형광에 의해 식별되는 일반적인 PIV영상과는 달리, X-ray PIV시스템을 사용하여 얻은 입자영상은 텅스텐 입자의 흡수대비에 의해 어둡게 나타나기 때문에 영상을 반전(invert)시킨 후, PIV연산 처리과정을 수행하였다.

그 결과 내경이 4 mm인 튜브내부 유동에 대해 수평방향으로 44개의 속도벡터를 얻을 수 있었는데, 이것은 약 91 μm 의 속도벡터 공간해상도에 해당하는 것으로, 고속 MRI장치를 이용한 유속측정에 비해 공간해상도 성능이 매우 우수하다. 그리고 X선 투과에 의해 중첩된 원관내부의 속도 profile은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다(1).

$$U_{Amssted}(x) = \frac{2}{3} V_{\max} \left(1 - \left(\frac{x}{R} \right)^2 \right) \quad (1)$$

후 기

PIV측정기법으로 구한 속도 profile을 위의 이론식과 비교하면 Fig.4와 같이 실험결과와 이론값이 비교적 잘 일치함을 알 수 있다. 정량적 비교를 위해 실험결과를 적분한 결과 약 736.2 $\mu\text{l}/\text{min}$ 의 결과를 얻을 수 있었는데 이것은 실제 syringe pump를 통해 공급된 유량 754 $\mu\text{l}/\text{min}$ 와 약 2.4 %의 작은 오차로 잘 일치하고 있다.

4. 결론

임상용으로 사용되는 X선관을 광원으로 하는 새로운 X선 PIV시스템을 구축하였다. 그리고 개발된 시스템이 제대로 잘 작동함을 확인할 수 있었다. 향후 임상용으로 적합한 추적입자가 개발되고 시스템의 성능이 개선된다면, 순환기질환의 조기진단장비로 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 과기부(과학재단)에서 지원한 특정기초연구(R01-2004-000-10500-0)와 시스템바이오다이나믹스 국가핵심연구센터의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- (1) Lee S.J. and Kim G.B., 2003, "X-ray Particle Image Velocimetry for Measuring Quantitative flow Information inside Opaque Objects", J. Appl. Phys., Vol.94-5, pp.3620-3623