

# 인공 심장 판막의 능동 및 수동적 개폐운동

강현구\* · 장근식\*\*\* · 민병구\*\*\*

## 1. 서 론

1977년에 St. Jude Medical 양엽 기계식 심장 판막이 소개된 이후, 인공 심장 판막의 설계를 향상시키기 위한 노력이 끊임없이 이루어져 왔다. 그러나 최근 까지 기계식 심장 판막의 설계는 엄밀한 공학적 분석보다는 직관적인 설계에 의존해왔으므로, 이의 혈류역학적 특성은 자연 심장판막에 비해 떨어질 수 밖에 없었다. 기계식 심장판막의 주요 문제점인 혈전증과 용혈(hemolysis)을 유발하는 가장 큰 요인은 판막 주변의 전단 응력과 유동박리이다. 이러한 기계식 인공심장 판막의 문제점을 해결하기 위해 다양한 형태의 인공심장 판막의 설계가 시도되고 있으며, 본 연구에서는 인공심장 판막의 혈류 역학적 유동 특성을 예측하기 위해 전산유체역학을 이용하였다. 유동 해석도구로서 전산유체역학은 인공 심장 판막의 후류유동과 판막 주변의 복잡한 유동 패턴을 확인하는데 유용한 방법이 된다. 수치적 모델을 정의 하고, 판막의 형태 및 열림 각도와 같은 설계 파라미터의 작은 변화를 추가하면, 이런 변화가 생체 주변의 유동장에 미치는 영향을 조사할 수 있다.

## 2. 본 론

본 연구에서는 2 차원 비정상 비압축성 Navier-tokes 유동 풀개(solver)와 중첩격자 기법을 이용해 움직이는 이엽 인공심장 판막 주변의 유동을 해석을 수행한다. 궁극적으로 본 연구의 목표는 서울대에서 개발한 polymer valve[1]의 해석을 목표로 하나 문제가 매우 복잡한 만큼 우선 rigid valv 를 가정하고 2 차원 유동을 해석하였다. 문제의 접근을 단계적으로 하기 위해 유동 속에서 능동적으로 움직이는 valve 주변의 유동을 먼저 해석하고,

맥동성 유동에 따라 수동적으로 움직이는 valve 주변의 유동을 그 다음에 해석한다.

### 2.1 수치해법

본 연구에 쓰여진 비압축성 유동풀개[2]는 Point-Symmetric Gauss Seidal Relaxation scheme 을 이용해 수렴속도를 증진시켰고, Chimera 중첩 격자 기법을 이용하여 움직이는 판막을 형상화함으로써 판막이 열리고 닫히는 데 따른 Moving grid 를 형성하였다. 또한 판막이 혈관벽면에 근접함으로 인해 발생하는 수치적 해석의 어려움을 극복하기 위해 판막과 벽면 사이의 간격을 비교적 균등하게 분할시킬수 있는 동적영역분할선(Dynamic Domain Dividing Line)[3]의 개념을 도입하였다. 이 같은 중첩 격자 계와 동적영역 분할선의 적용으로 만들어진 심장 판막 모델의 격자계는 Fig. 1 과 같다. 여기서 대칭면과 판막의 힌지를 떨어 뜨려 놓음으로써 wash-out hole 의 효과를 알 수 있다.

또한 맥동성 유동에 따라 수동적으로 열리고 닫히는 판막의 운동과 유동을 해석하기 위해 일반적인 Womersley 해에 의한 입구 속도조건을 주고 간단한 동력학적 원리를 이용한다.

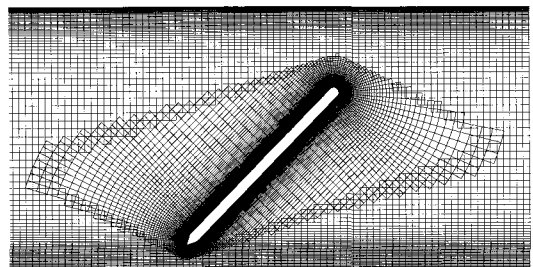


Fig. 1 Numerical model of 2D prosthetic heart valve

\* 한국과학기술원 기계공학과 항공우주공학전공 박사과정

\*\* 한국과학기술원 기계공학과 항공우주공학전공

\*\*\* 서울대학교 의과대학 의공학과

## 2.2 계산 결과

인공심장판막의 능동적 개폐운동과 그 주변의 유동 해석은 아래 그림과 같다. 계산 모델의 아래쪽 경계는 대칭 조건을 부여하고, 입구 조건은 균일한 유동을 가정하였다. 판막의 움직임은 열림 각도를 45°에서 88°로 제한하고 2초의 주기를 가지고 강제 운동시켰다. 속도장과 속도 벡터를 살펴보면, 판막의 뒤쪽 면에 저속의 영역이 형성되고, 이 주위에 와류가 형성되는 것을 알 수 있다. 그러나 힌지 아래쪽에 있는 wash-out hole 을 통해 나온 빠른 유동이 판막의 뒷면에 운동 에너지를 공급해 줌으로써 와류의 정체가 빨리 해소 되는 것을 볼 수 있다.

## 3. 결 론

인공심장판막의 성능 향상을 위해 수치 해석 기법을 이용한 해석 도구를 개발하고 이를 이용해 능동 및 수동적으로 열리고 닫히는 인공심장판막의 운동과 주변 유동을 비교해 보고 해석한다. 서울대 polymer valve 가 제시한 wash-out hole 을 도입하여 계산해본 결과 기존 판막의 문제점이 되어 왔던 판막 뒷면에서의 유동 정체로 인한 혈전 생성의 문제를 개선할 수 있는 것을 확인할 수 있다. 전단응력의 분포 및 수동적 판막의 운동과 유동해석 결과도 제시한다.

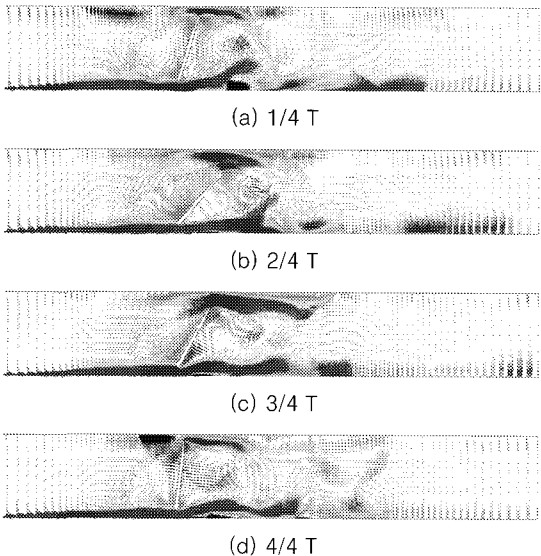


Fig. 2 velocity distribution around active moving prosthetic heart valve

## 후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(2000-2-31400-006-3)지원으로 수행되었음.

## 참 고 문 헌

- (1) S.W. Suh, W.G. Kim, B.C. Kim, B.G. Min, 1996 "A new polymer valve for the mechanical circulatory support systems", Int. J. of Artificial Organs, Vol. 19, pp.712-8.
- (2) 옥호남, 1993, "Development of an Incompressible Solver and Its Application to the Calculation of Separated Flows", University of Washington Ph.D Dissertation.
- (3) 최성욱, 2000, "움직이는 조종면의 천이적 공력 거동에 관한 수치적 연구", 한국과학기술원 박사논문.