

# 승모판막 생체역학 모델의 가상현실 사용자 인터페이스 개발

고민성, 홍우재, 김성민, 정수환, 김형건\*  
성균관대학교 바이오메카트로닉스학과

minsungko413@gmail.com, woojaehong94@gmail.com, seongminkim97@gmail.com,  
jeongsoohwan92@gmail.com, \*hkim.bme@skku.edu

## Virtual Reality User Interface Development for Biomechanical Mitral Valve Model

Minsung Ko, Woojae Hong, Seong Min Kim, Soohwan Jeong, Hyunggun Kim\*  
Department of Biomechatronic Engineering, Sungkyunkwan University

### 요 약

머리 부분 탑재형 디스플레이를 이용해 가상의 환경 속에서 실제와 유사한 시공간적 체험을 할 수 있는 가상현실 기술은 높은 몰입감과 현실감이 특징이다. 의료 분야에서도 가상현실 기술을 응용한 가상 수술 시뮬레이션 개발은 최근 활발히 연구되고 있다. 승모판막이 정상 기능을 하지 못하는 경우 폐쇄부전증, 역류증과 같은 질환으로 발전하게 된다. 본 논문에서는 생체역학적 시뮬레이션을 통해 얻은 가상 승모판막 모델의 판엽 접합 정도와 판엽 응력 분포 결과를 가상환경 공간에서 가시화한 후 가상현실 장비를 이용해 상호작용을 구현할 수 있는 사용자 인터페이스를 개발하였다.

### I. 서론

머리 부분 탑재형 디스플레이(Head Mounted Display; HMD)를 이용해 가상의 환경 속에서 실제와 유사한 시공간적 체험을 할 수 있는 가상현실(Virtual Reality; VR)기술은 몰입감(Immersion)과 현실감(Presence)이 높은 것을 특징으로 다양한 교육과 훈련 방식의 새로운 응용 분야로 대두되고 있다.[1] 대표적으로 의료 분야에서는 가상현실 기술 기반의 가상 수술 시뮬레이션 개발이 최근 활발히 연구되고 있는 분야 중 하나이다.

승모판막(Mitral Valve; MV)은 좌심방과 좌심실 사이에 위치하며 혈액이 한쪽 방향으로 흐를 수 있게 해주는 역할을 한다. 승모판막이 정상 기능을 하지 못하는 경우 승모판막 폐쇄부전증, 승모판막 역류증과 같은 질환으로 발전하게 된다. 선행 연구에서 개발된 유한요소해석 기법을 이용한 가상 승모판막 모델의 생체역학적 시뮬레이션 분석은 임상 데이터를 기반으로 여러 승모판 질병 모델을 구현해 질병의 병리학적 특징을 정성적, 정량적으로 연구하는데 활용되고 있다.[2] 본 연구진은 가상현실 기술을 이용해 가상 승모판막 모델의 생체역학적 시뮬레이션 결과를 상호작용이 가능한 가상공간 내에서 가시화하는 방법을 구현해 추후 가상현실 기반의 승모판막 수술 시뮬레이션 플랫폼을 개발하고자 한다. 본 논문은 정상 환자의 임상 데이터를 기반으로 한 가상 승모판막 모델을 분석한 생체역학적 시뮬레이션 결과를 가상현실 공간에 가시화하고 추가적인 사용자 인터페이스를 개발해 다양한 상호작용을 구현하는 것이 목적이다.

### II. 가상 승모판 모델링과 생체역학적 시뮬레이션

선행 연구에서 개발된 임상 데이터 기반의 가상 승모판막 모델은 전엽과 후엽으로 구성된 판엽, 안장 모양의 판륜, 판엽을 지탱하는 다수의 건삭, 건삭의 뿌리 역할을 하는 유두근으로 이루어져 있다. 가상 승모판막

모델의 동적 유한요소해석 시뮬레이션은 ABAQUS (Ver. 2017)를 이용해 진행하였으며, Fung-type 이방성 고탄성 재료 모델을 승모판의 판엽에 적용하였다. 전체 심장 주기에 걸친 좌심실과 좌심방 사이의 생리학적 압력 변화를 승모판막의 판엽에 적용해 동적 유한요소해석 시뮬레이션을 진행하였다.

### III. 가상 승모판막 모델의 가상현실 인터페이스 개발

#### III-1. 승모판막 시뮬레이션 모델의 데이터 전처리

승모판막 시뮬레이션 모델의 가상현실 구현을 위한 데이터 전처리 과정은 Blender (Ver. 2.79)를 이용해 진행하였다. 먼저 가상 승모판막 모델의 동적 유한요소해석 시뮬레이션 결과 중 최대 수축기 시점에서의 판엽 응력 분포와 판엽 접합 정도 결과를 ABAQUS 에서 VRML (.wrl) 형식으로 추출한 뒤 Blender 로 Import 하였다. 데이터 전처리 과정은 가상공간에서의 향상된 가시화를 위해 가상 승모판막 모델의 크기를 3 축 방향으로 50 배 확대한 후, Solidify 기능을 이용해 임상 논문에서 보고된 판엽의 평균 두께인 0.69 mm 를 전체 판엽에 적용하고 Bevel 기능을 이용해 0.7 mm<sup>2</sup> 의 평균 건삭 단면 면적을 적용했다. 마지막으로 Subdivision Surface 기능을 이용해 가상 승모판막 모델의 3D 판엽 표면을 부드럽게 향상시킨 후 Film box (.fbx) 파일 형식으로 Export 하였다. 그림 1a 는 유한요소해석에서 추출한 3D Shell 을 이용한 가상 승모판막 모델을 보여주며, 그림 1b 는 데이터 전처리가 완료된 가상 승모판막 모델을 나타낸다.

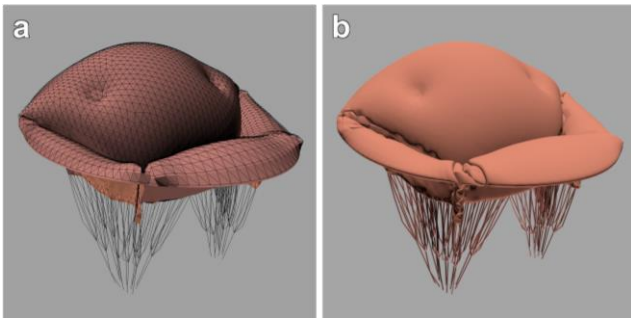


그림 1. 데이터 전처리 전(a)과 후(b)의 승모판막 모델

### III-2. 가상환경 구성과 가상현실 가시화

HMD 를 이용한 가상현실 장비로 Oculus Rift 를 사용했으며, 가상환경 구성과 사용자 인터페이스 개발은 Unity (Ver. 2018.4.13f1)를 이용하였다. 가상환경은 실제 2 x 4 m 실험공간의 크기를 반영해 구현했으며 데이터 전처리가 완료된 가상 승모판막 모델을 가상환경에 배치하였다. 사용자는 가상환경으로 정의된 공간을 자유롭게 이동할 수 있으며 다양한 각도에서 승모판막 모델의 생체역학적 시뮬레이션 결과를 확인할 수 있다. 그림 2a 는 가상환경 구성에 사용된 실험공간과 사용자의 모습을 보여주며, 그림 2b 와 2c 는 사용자가 가상현실 내에서 보고 있는 승모판막 모델을 나타낸다.

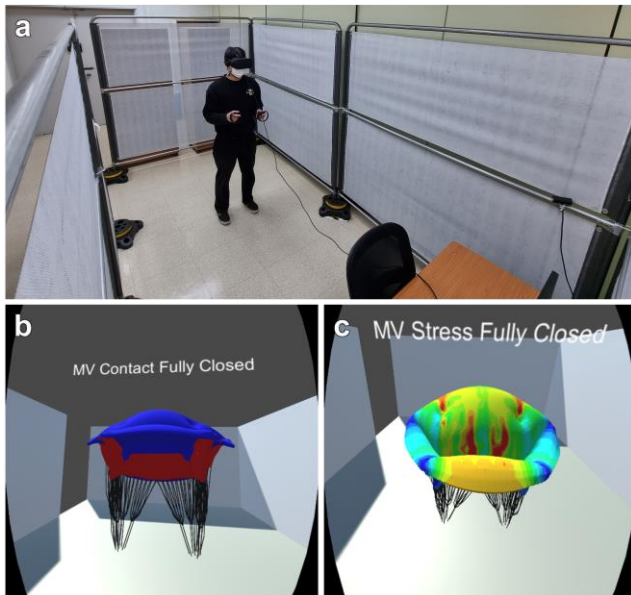


그림 2. (a) 가상환경 구성에 사용된 실험 공간과 가상현실 내 승모판막 모델의 생체역학적 시뮬레이션 결과; (b) 판엽 접합 정도, (c) 판엽 응력 분포

### III-3. 가상현실 사용자 인터페이스 개발

그림 3a 는 유한요소해석 결과 중 판엽 접합 정도와 판엽 응력 분포를 보여주는 두 가지 승모판막 모델을 가상환경 내에 동시에 배치한 모습이다. 그림 3b 는 각각의 모델을 선택적으로 가시화할 수 있는 옵션을 구현한 사용자 인터페이스 화면을 나타낸다. 사용자가 가상환경에서 각각의 가상 승모판막 모델을 선택해 상호작용을 할 수 있도록 이동, 회전, 크기 조절 옵션을 포함하는 사용자 인터페이스를 정의하였다. 그림 4a 는 판엽 접합 정도를 보여주는 가상 승모판막 모델을 선택한 후, 승모판막 모델의 크기를 확대하고 전엽 아래쪽 방향에서 바라볼 수 있도록 회전해 정상적인 판엽 접합 여부를 확인할 수 있게 해준다. 그림 4b 는 사용자 인터페이스에서 이동, 회전, 크기 조절 옵션이 구현된 화면을 보여준다.

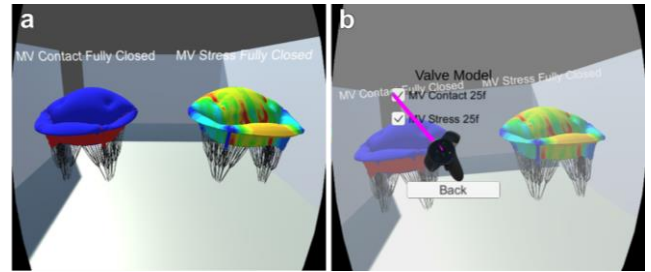


그림 3. (a) 가상환경 내 두 가지 승모판막 모델 가시화, (b) 사용자 인터페이스를 통한 개별 모델 선택

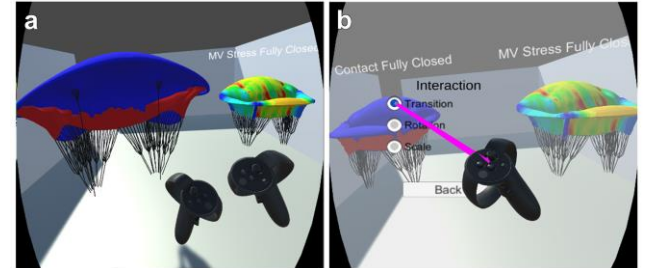


그림 4. (a) 상호작용을 통한 승모판막 모델의 이동, 회전, 크기 조절 예시, (b) 이동, 회전, 크기 조절을 위한 사용자 인터페이스

## IV. 결론

본 논문에서는 가상환경 공간에서 생체역학적 시뮬레이션을 통해 얻은 가상 승모판막 모델의 판엽 접합 정도와 판엽 응력 분포 결과를 가시화한 후 가상현실 장비를 이용해 상호작용을 구현하는 방법을 개발하였다. 사용자는 실제 실험공간을 모사한 가상환경 내에서 자유롭게 이동하며 가상 승모판막의 판엽 접합 정도와 판엽 응력 분포를 관찰하고 선택적으로 상호작용해 시뮬레이션 결과를 정성적으로 분석할 수 있었다. 본 연구에서 시도한 가상현실에서 상호작용을 포함한 다양한 가시화 기법을 적용해 승모판막의 생체역학적 시뮬레이션 결과를 분석하는 전략을 확장시켜 추후 연구에서는 전체 심장 주기의 시뮬레이션 결과와 다양한 승모판막 질병을 모사한 모델들을 가상현실 공간에서 상호작용 기능을 통해 구현하려 한다.

## ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2019 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (No. NRF-2019R1A2C1005094)

## 참 고 문 헌

- [1] Jensen, L. and Konradson, F. "A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training," Education and Information Technology, 23, pp. 1515-1529. 2017.
- [2] Rim, Y., Choi, A., McPherson, D. D. and Kim, H. "Personalized computational modeling of mitral valve prolapse: virtual leaflet resection," PLoS ONE, 10, e0130906. 2015.