

## PIV & Bio-fluid Lab.

김성균

전국대학교 기계공학부 교수

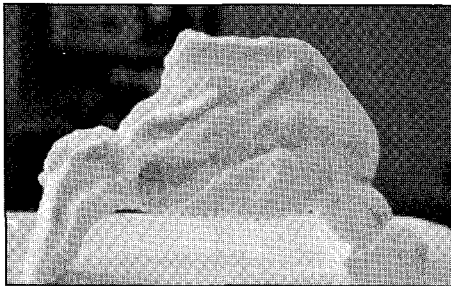
### 1. 서 론

21세기 의약학 연구에 있어서 생물-물리학적 (Biophysical aspects) 해석의 중요성이 부각되고 있으며 압력구배, 진단응력 등 기계공학 연구의 도입이 가

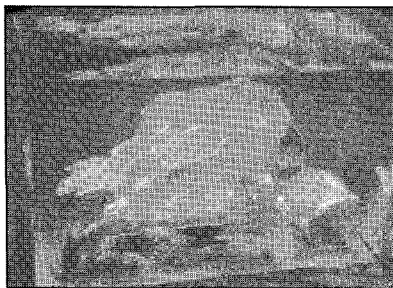
속화되고 있다. 더구나 호흡기 및 혈관 등 유체의 순환 운동이 수반되는 기관에서의 유동 특성을 연구함은 공학적 원리와 방법을 의학 분야에 적용하여 새로운 현상과 사실을 탐구하여 임상진료에까지 응용하고 생체 및 인체시스템의 원리를 공학 분야에 활용하여 보다 정확하고 유용한 정보를 얻을 수 있다.

본 연구실에서는 코, 상기도 등 전 호흡기와 복부대동맥, 경동맥 등의 혈관과 같은 인체 내부의 유동에 대하여 수치해석적 연구와 PIV실험을 수행하고 있다. 특히, 한국인의 비강내의 유동해석을 국내 최초로 성공하였으며 3차원 파형유로 등 형상 제작이 어려운 생체 유체 실험대상에 대하여 실제 인체의 CT 데이터로부터 실리콘 성형법을 도입하여 실험을 하고 있다. 실리콘 성형법은 직접제작하고 실험하는 것 안되는 실험실로써 국내의 다수의 연구자들로부터 인정을 받고있다.

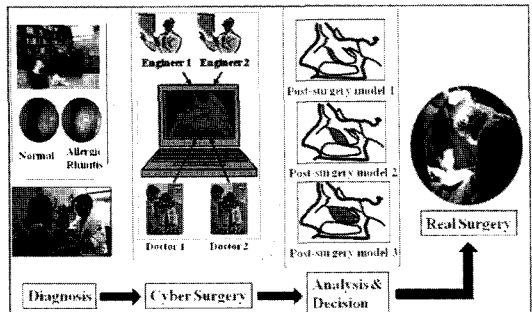
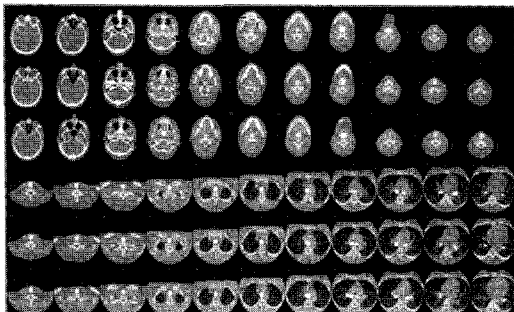
또한 기계공학과 병원과의 학제간 연구를 통해, 해부학적으로 정확한 호흡기 형상 및 해석 조건을 확립하고, 실험 및 전산해석을 통해 비강 내 해부학적 기관의 공기역학적 역할을 파악함으로써 이비인후과 진단 장치에 필요한 데이터베이스를 구축하고 있다. (아래 그림의 협력모델 참조) 또한 수술적 변형 모델들에 대한 유동 현상을 생리-물리학적으로 연구하여 최적의 모델을 연구하고 있다.



<Negative Model by RP>

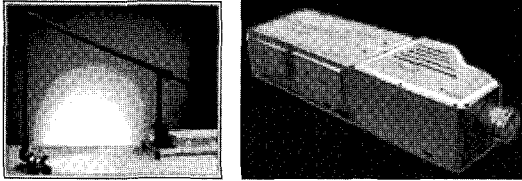


<Silicon Model>



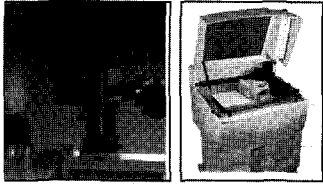
## 2. PIV 및 Bio-fluid 실험실 연구장비 및 주요 연구내용

### 2.1 실험 장비



<Light sheet generation>

<Nd-YAG Laser>



<CCD Camera>

<RP>

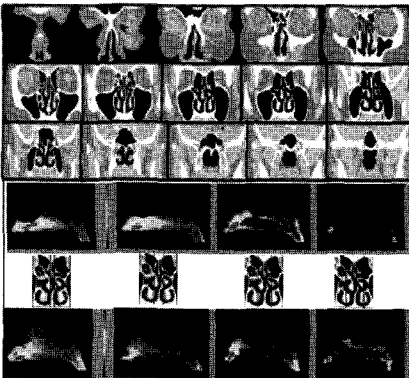
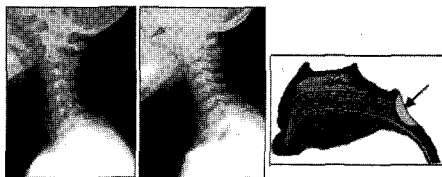
### 2.2 아데노이드 비대증에 의한 비정상 비강 내 유동 해석

아데노이드 비대증은 어린이의 이비인후과 질환 중에 가장 빈번한 것으로 비강 말단의 인후부의 피하 림프조직의 증식에 의해 기도가 폐쇄되는 질환이다. 이는 보통 3,4세에 시작되어 14~15세에 끝난다. 이 질환의 증세로는 입으로만 호흡함으로써 헐떡임, 언어장애 등이 있다.

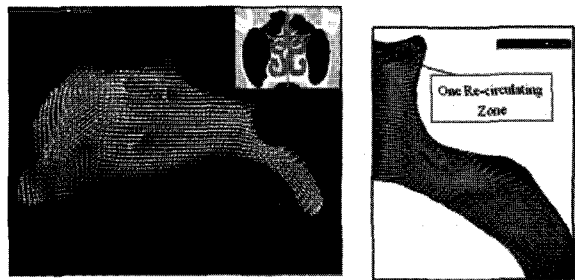
기도 폐쇄율이 일정량 이상이면(70%) 외과적 수술에 의해 제거되며, 수술 결정과 제거후의 후유 증세 판단 및 재수술은 의사들의 경험에 의존한다. 때문에 본 연구실에서는 기도의 단면적이 50% 폐쇄된 모델과 70% 폐쇄된 모델을 제작하여, PIV 가시화 실험을 통해 각 모델 별 유동의 흐름을 해석하였다. 해석 결과 70% 폐쇄된 모델의 전후에서 2개의 재순환 영역이 발생하고 유로가 좁아진 곳에서 속도가 증가하는 것을 RMS값이 증가하는 것을 확인 할 수 있었다.

### 2.3 비강 내 가상 수술을 통한 유동 흐름에 관한 연구

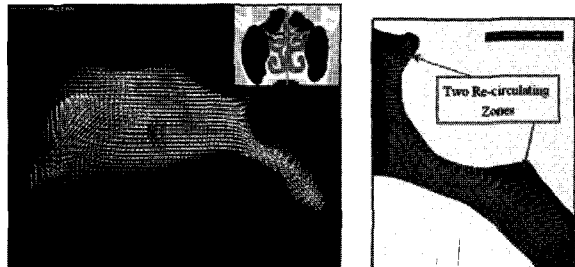
현재 인체 비강 내 수술은 전적으로 의사들의 경험에 의존하고 있다. 또한 수술 후에도 얼마나 좋아졌는가 하는 것은 환자 개인의 특징에 따라 다르고, 또한 수술 후 붓기가 빠지기까지 많은 시간이 걸린다. 때문에 비강 모델을 이용한 가상 수술을 통해서 최적의 수술 상태를 찾아보기로 하였다. 실험을 위해 증비갑개 제거 모델과 하비갑개 제거 모델을 제작하고 각각의 상태에 따른 PIV실험을 진행하였다. 각각의 실험에 대하여 속도장 및 전단력을 구하였고 그에 따른 내부 유동상태를 확인하였다. 또한 수치해석적 결과와 비교하여 실험을 검증하였다. 속도나 압력 외에도 온도 조절 및 습도 등 비강의 다양한 기능들을 고려하여 최적의 수술상태를 찾는 연구가 계속되어야 할 것이다.



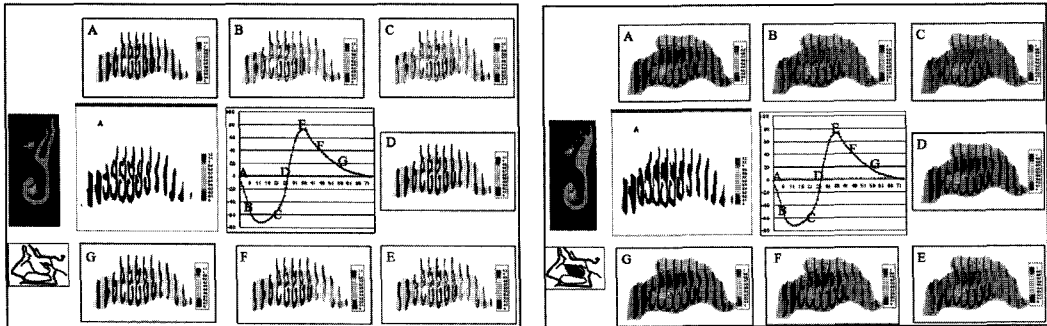
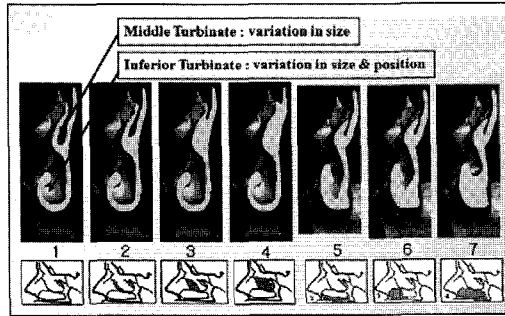
Asymmetric cavities



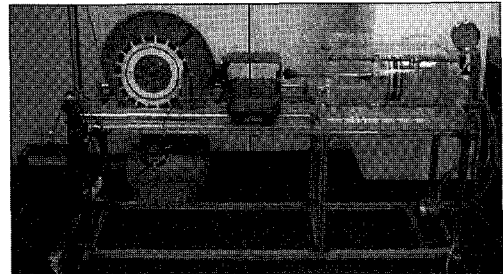
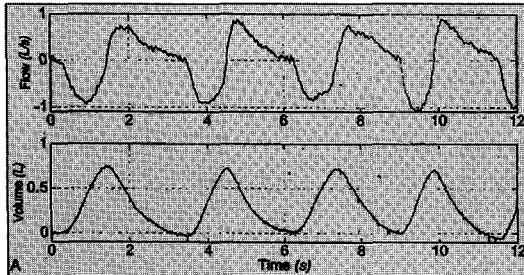
50 % Adenoid vegetation



70 % Adenoid vegetation



<정상 모델 및 가상 수술을 통한 모델 PIV 해석 결과>



<주기 유동 발생 장치>

**2.4 비대칭 비강 내 주기유동에 관한 연구**

전체 인구의 80%정도가 비대칭 비강을 가지고 있지만 어떤 사람은 호흡에 고통을 호소하는 한편 다른 사람들은 호흡을 하는데 아무런 불편을 느끼지 않는다. 호흡의 고통을 느끼는 사람들과 그렇지 않는 사람들간의 비강 데이터로부터 RP모델 제작하여 PIV실험을 통해 고통을 느끼는 다양한 원인들에 대해 분석해 보았다. 또한 수치해석을 통하여 각각의 모델에 대한 온도장 및 습도장을 구하였고, 수치해석적인 결과와 실험결과를 비교 분석하여 실험의 타당성을 검증하였다. 실험을 통해 얻은 요인들 외에도 고통을 느끼는 원인들을 더 분석하고, 고통을 느끼는 이유도 개개인의 특성에 따라 다르기 때문에 앞으로 더 많은 생리, 병리학적인 연구가 필요하다고 생각한다.

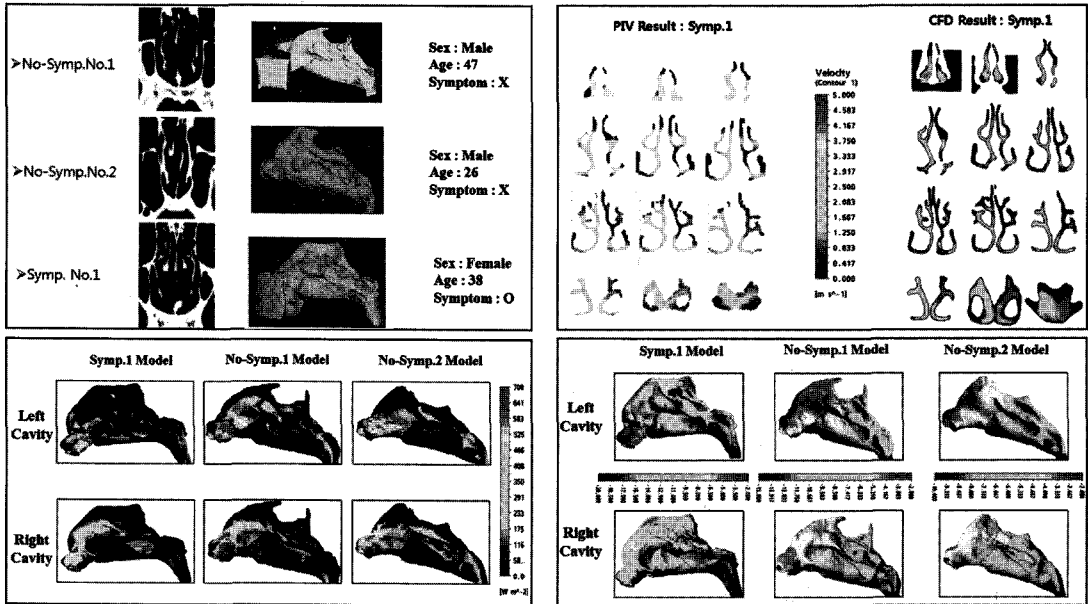
**2.5 비강 및 상기도를 포함한 전 호흡기 주기유동에 관한 연구**

비강 및 상기도를 포함한 전 호흡기 유동 해석을 통해 전 구간에서의 유동 특성을 파악하여 보았다. 특히 상기도의 인후두 부분에서 특별한 유동이 생기는 것을 확인할 수 있었다.

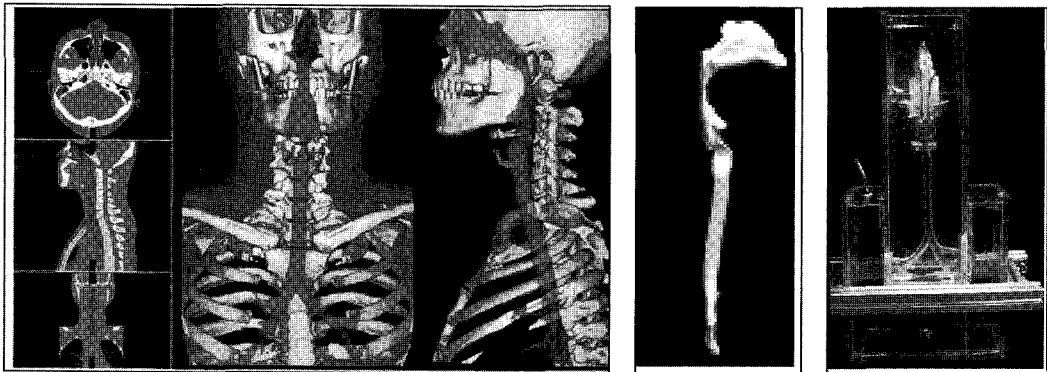
또한 비강을 제외하고 상기도 부분만을 실험해본 결과에서도 역시 인후두 부분에서 특별한 유동현상이 생기는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 상기도의 기하학적 형상 때문에 생기는 유동의 특성이라고 생각할 수 있다.

**2.6 혈관 내부 유동에 관한 연구**

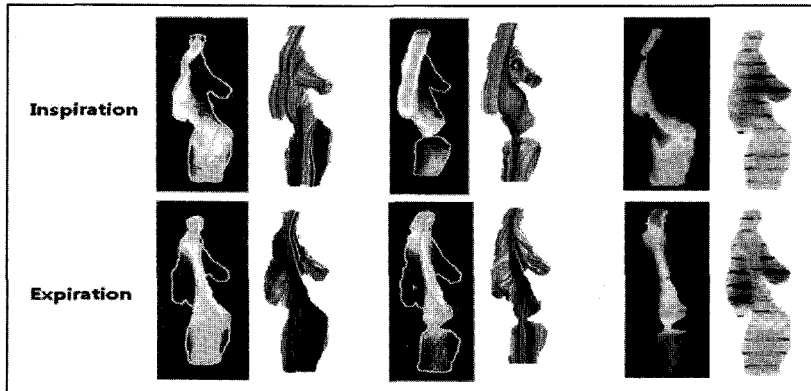
인체 혈관 내 경동맥, 관상동맥, 복부대동맥 등의 혈



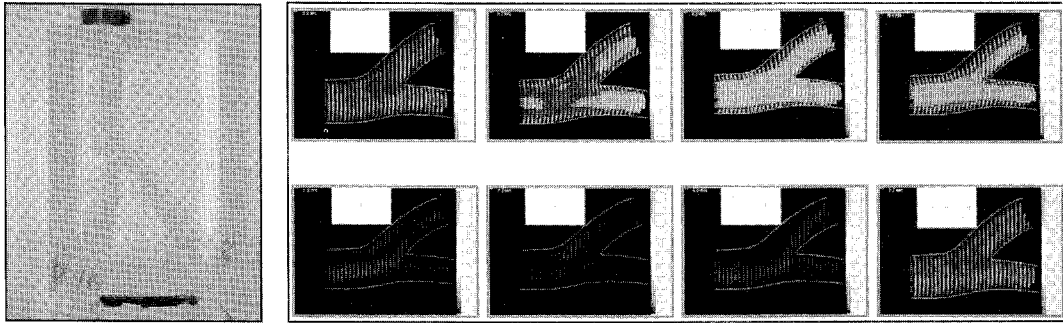
<비대칭 모델 데이터 및 PIV, CFD 해석 결과>



<비강 및 상기도 RP모델 및 유로제작>



<PIV해석을 통한 상기도의 유동 특성>



<복부대동맥 유로 및 PIV실험 결과>

액유동에서 유동방향 및 면적의 급격한 변화로 인하여 분지관의 외벽쪽에 재순환영역이 형성되고, 이 부분에 낮은 전단응력 지역이 형성되어 내피세포에 손상이 생기고, 이 상처는 시간이 지남에 따라 플라크의 모양으로 점점 자라게 되어 혈관을 국부적으로 좁아지게 만들고, 이는 결과적으로 동맥경화의 원인이 된다. 이러한 유동현상을 규명하기 위해 실제 복부대동맥 CT Data를 기준으로 복부대동맥 모델을 만들어 실험을 진행하여 보았다. 결과적으로 혈관이 분지되는 부분에서 낮은 전단응력과 재순환 영역이 발생하였다.

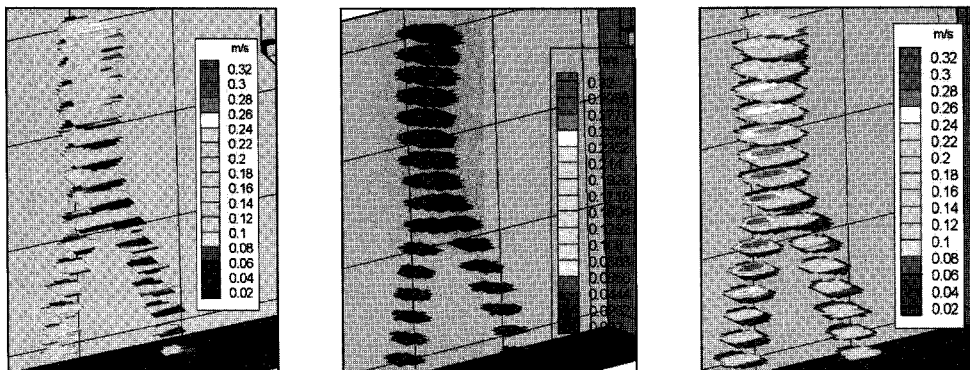
**2.7 탄성이 있는 혈관 내부 유동에 관한 연구**

이전까지의 다양한 논문 및 자료들을 살펴보면 탄성이 있는 혈관에 대해서는 수치해석적인 결과들만이 있을 뿐 실험적인 측면에 대한 결과들은 아직 발표되지 않고 있다. 본 연구실에서는 탄성이 있는 혈관 모델을 제작하여 실제 인체와 유사한 상황에서 혈액이 어떤 유동특성을 갖는지에 대하여 실험을 진행하고 있다.

결과적으로 이전의 탄성이 없는 실험에 비하여 속도 및 전단응력에서 차이를 보였다. 더 정확한 결과를 위해 실제 혈관의 탄성과 모델의 탄성을 맞춰줘야 하고, 다양한 혈관의 탄성도를 측정하여 각각의 탄성 차이에 따른 유동 특성을 비교해야 한다.

**맺음말**

21세기 의약학 연구에 있어서 생물-물리학적 (Biophysical aspects) 해석의 중요성이 부각되고 있다. 앞으로 의학에서 공학의 역할이 점점 커짐에 따라 의학과 공학의 연계가 더욱더 필요한 실정이다. 인체 내부 유동 및 전단응력 등의 특성을 파악하고 인체의 다양한 정보를 통해 최적의 수술적 환경을 찾아낼 것이다. 또한 공학적 원리와 방법을 의학 분야에 적용하여 새로운 현상과 사실을 탐구하여 임상진료에까지 응용하고 생체 및 인체시스템의 원리를 공학 분야에 활용하여 보다 정확하고 유용한 정보를 얻을 수 있다.



<복부대동맥의 주기동에 따른 각 구간별 속도장>