

복잡한 생체 유동 문제에 대한 전후처리를 동반한 전산 유동 해석

강현구*, 장근식*, 정승규**

1. 서론

혈액이나 림프액의 순환 혹은 호흡공기와 같은 인체 내부의 유동은 거의가 매우 복잡한 생체구조 및 생리작용 안에서 이루어진다. 심장, 혈관, 비강, 폐의 내부에서의 유동은 기본적으로 생체기관의 형상이 복잡하다는 사실에 덧붙여 환자 개개인의 체질적 특성이 다르기 때문에 문제가 복잡하다. 따라서 평균적인 인체 형상에 대한 일반 기초의학 지식을 연구하는 것 외에도 개인적 특성의 인체 형상을 고려한 임상적인 치료방법을 강구하기 위해서는, CT 이미지에 기초를 둔 거의 자동적으로 형성되는 Pre-Processing 과 Post-Processing 기능이 첨가된 컴퓨터 시뮬레이션 방법을 만들어내는 것이 필수적이다. 최근에 와서는 컴퓨터의 급속한 발달에 힘입어 과거에 이론적으로 해석할 수 없었던 복잡한 공학적 유동 문제의 수치 해석이 가능하게 되었으며 일부 한정된 기능을 갖춘 상업용 코드도 출현하였다. 그러나 이러한 공학적 전산유체역학적 도구들은 아직도 복잡한 형상은 물론 다양하게 반응하는 구조를 가진 인체 내부의 유동에 대해서 정확한 적용이 불가능하며 더욱 개발해서 고도화되어야 할 여지가 있다. 인체 비강의 형상은 특히 악명이 있을 정도로 복잡하여 전산해석 분야의 전문인조차도 비강 경계면의 수학적 표현, 계산격자 생성과 계산 코드의 제작에 많은 시간과 전문적인 기법을 동원하지 않으면 해석이 불가능하다.

본 연구에서는 비강형상 내부의 공기 유동을 해석하기 위하여 Octree 적응격자 기법과 PISO 계산 코드의 개념을 사용하여, 비전문인이라도 격자를 손쉽게 구성하고 유동 해석할 수 있는 유동 해석 코드를 개발한다. 또한 CT 영상 데이터를 기반으로 인체내의 복잡한 3차원 경계 형상을 수치적 함수 처리하여 계산 모델로 변환시킬 수 있는 전처리 기법과 유동 해석 결과를 분석하는 후처리 기법에 대한 연구도 수행하고 있다. 이러한 전후처리를 동반하는 유동해석 기법은 추후 비강 뿐만 아니라 심장 혈관계의 생체 유동에 곧 바로 응용될 수 있으므로 부가가치가 큰 연구분야라고 할 수 있다.

2. 본론

2.1 비강 유동

비강(Nasal cavity)은 흡입된 공기의 먼지를 걸러주고, 온도와 습도를 맞춰주는 공기조절 작용을 한다. 비강의 필터로서의 작용은 비강에 흡입된 각종 오염 입자들로부터 폐가 손상되는 것을 막는다. 그러나 이 때문에 비강 자체는 각종 병원균에 의한 감염과 기계적 및 화학적 손상의 원인에 쉽게 노출되어 비강 내의 각종 염증과 기침, 가래, 재채기, 조직 기형, 후각 감퇴 등을 촉발한다. 따라서 흡입된 공기 및 오염 입자들의 경로와 이에 의한 속도, 압력, 전단응력의 분포 양상을 결정 할 수 있는 비강 유동의 전산 해석 및 예측은 꼭 필요하다. 또한, 질병에 의해 변형되거나 외과적 수술에 의해 성형된 비강 구조에 대하여도 공기유동의 상세한 정보를 얻을 수 있다면 코 수술과 수술 이후의 감염이나 재발 예측을 필요로 하는 임상자에게 매우 유용한 자료를 제공할 수 있다.

2.2 전처리 과정

비강 형상에 대한 CT 혹은 MRI 등의 의료 영상으로부터 얻은 DICOM파일을 기반으로 복잡한 3차원 기하학적 형상을 얻고 이 모델에 대한 격자계 형성을 수행한다. 격자 형성 기법은 비정렬 격자기법과 정렬격자기법으로 나눌 수 있다. 정렬격자기법으로 비강과 같은 복잡한 형상을 모델링하려면, Hörscher 등⁽¹⁾과 같이 다중블록으로 구성된 격자계를 형성해야만 한다. 그러나 이 경우 격자형성과 정에서 수작업이 많이 들어가므로, 다양한 형상의 비강 격자 모델을 만드는 데 많은 시간과 비용이 소요된다. 비정렬격자계의 경우 어떤 복잡한 형상에 대해서도 단일 격자계로의 형성이 가능하지만, 격자모델의 데이터가 커지고, 격자의 형성과정에서 전문적인 지식과 많은 수작업을 필요로 하는 단점이 있다. 본 연구에서는 사용자로 하여금 격자 형성에 대한 전문지식과 많은 수작업 없이도 빠르게 단일 격자계를 형성해 주는 Octree형태의 적응격자를 사용하여 연구를 수행하였다.

* 한국과학기술원 기계공학과 항공우주공학전공
** 성균관대학교 의대 삼성서울병원 이비인후과

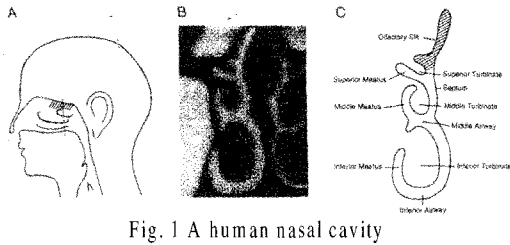


Fig. 1 A human nasal cavity

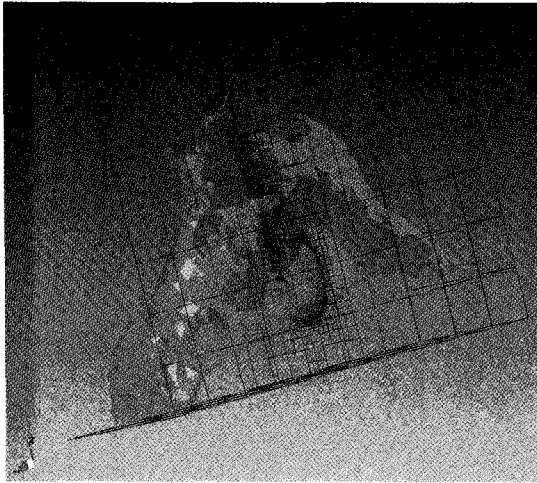


Fig. 2 Octree mesh generated around 3D nasal cavity model

CT영상으로부터 얻은 DICOM 파일을 Vworks 등의 소프트웨어를 이용해 비강의 3차원 형상파일을 dxf파일 포맷으로 얻는다. 이를 변환하여 격자형성의 기본이 되는 3D surface를 얻은 후 본 연구에서 사용되는 소프트웨어를 이용하면 3차원 적응격자계가 자동으로 형성된다.

2.3 유동 해석 및 후처리 과정

비강 유동의 수치적 해석은 3차원 비압축성 Navier-Stokes 방정식을 본 연구실과 그 협력 대학 간에 개발된 PISO⁽²⁾ method를 사용하여 시간적으로 적분한다. 이 알고리즘은 비압축성 유동에 대해서 좋은 결과를 내는 것으로 이미 여러 연구를 통해 검증되었다.

해석된 결과는 후처리를 통해 유속과 압력 및 온도 등의 정보를 확인할 수 있으며, 이러한 처리가 모두 GUI를 통해 이루어지게 되므로 사용이 매우 편리하다.

3. 결론

본 연구에서는 MRI나 CT등의 의료 영상 데이터로부터 얻은 인체의 복잡한 형상 속에서 이루어지는 유동을 해석할 수 있는 코드를 개발하며, 수치해석의 비전문인이라도 쉽게 해석할 수 있도록 전처리 과정과 후처리 과정을 통합하는 GUI를 개발한다. DICOM파일로부터 얻은 3차원 형상 파일을 직접 입력 받아서 적응형 계산 격자계를 생성하고 이에 대한 수치해석을 수행하며, 그 결과를 분석할 수 있다. 복잡한 생체 유동에 대한 해석 능력을 검증하기 위해 비강내의 유동을 해석하였다.

참고 문헌

- (2) Hörscher I, Meinke M, Schröder W, 2003, "Numerical simulation of the flow field in a model of the nasal cavity", Computers & Fluids 32, pp. 39-45.
- (3) Issa R. I, 1986, "Solution of the Implicitly Discretized Fluid flow equations by Operator-Splitting", J. Comput. Phys. 62, pp. 40-65