LBM을 이용한 FFR 측정에서의 형상 후처리 과정 자동화

김준홍* · 김영우* · 이준상*

Automation of geometry post-processing in LBM for estimating fractional flow reserve(FFR)

Jun Hong Kim*, Young Woo Kim*, Joon Sang Lee*

Abstract : In determining whether percutaneous coronary intervention (PCI) should be operated, fraction flow reserve (FFR) could be used for guideline.[1] FFR could be estimated with Computational Fluid Dynamics (CFD), especially Lattice Boltzmann Method (LBM). But there are limitations in using LBM. Geometry files for patients are usually STL format and it should be converted to PLT format to be used in LBM. In the process of conversion some geometry problems take place and it should be altered manually. It takes a lot of time and reliability for simulation could be reduced because the altered result would depend on individual. With automation of this process, the limitations of LBM could be overcomed.

1. 서 론

관상 동맥 협착 질환자에 대해서 수술 여부를 결정하기 위해서는 혈관의 협착 정도를 정확하게 판단할 수 있어야 한다. 이를 위해서 여러 기능적인 지수들이 활용될 수 있는데, 혈류의 장애 정도를 평가하는 fractional flow reserve (FFR)을 다른 지수들과 함께 활용한다면 보다 정확하게 협착 정도를 판단할 수 있다.[2]

FFR을 측정하기 위한 방법으로 Computational Fluid Dynamics (CFD) 시뮬레이션의 일종인 Lattice Boltzmann Method (LBM)을 활용할 수 있다. 직접적인 측정이 아닌 모델링을 통한 시뮬레이션이기 때문에 보다 쉽고 빠르게 결과값을 얻을 수 있다는 장점이 있다.

일반적으로 환자의 혈관 형상은 STL 형식의 파일로 제공받게 되는데, 이를 LBM에 적용하기 위해서는 PLT 형식으로 변환해야 한다. 이 과정에서 형상 내부를 모두 유체로 정의해야 하는데 기존의 LBM프로그램을 통해 변환하게 되면 형상의 일부가 유체로 선언되지 않는 문제가 발생하게 된다. 따라서 이를 수작업으로 수정해야 하는데, 이는 시간과 인력이 많이 소요되는 작업이다. 또한 수정을 하는 개인에 따라 그 결과가 달라질 수 있어 시뮬레이션의 신뢰도를 떨어뜨리는 문제를 야기하게 된다. 이러한 형상 후처리 과정을 자동화할 수 있다면 시간 및 인력의 소요는 줄이면서 시뮬레이션의 객관성도 확보할 수 있을 것이다.

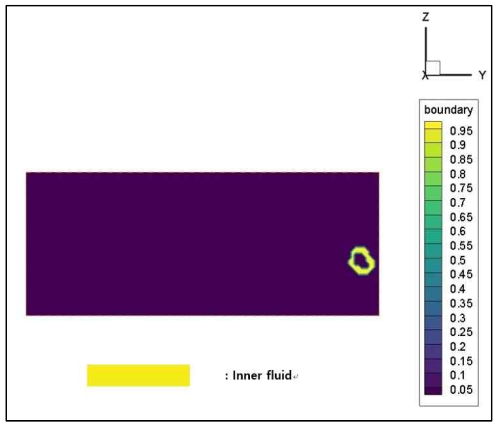

Fig. 1 Cross section(x=8) of geometry before post-processing

* 연세대학교 기계공학부

2. 본 론

형상 내부에서 유체로 선언되지 않은 부분은 공통적으로 형상의 입·출구 부분에서 나타난다. 이는 기본적으로 STL 형상이 입·출구 부분에서 채워져 있지 않고 뚫려있는 형태이기 때문에 발생하는 문제이다. 따라서 형상의 입·출구를 면으로 채울 수 있다면 문제는 해결할 수 있을 것이다. STL 형상은 vertex-to-vertex rule, facet orientation rule 두 가지의 규칙을 따르는데 [3], 첫 번째 규칙을 이용하여 입·출구에서의 둘레를 이루는 점들의 좌표를 구했다. 구한 점들의 좌표를 이용하여 입·출구에서의 면의 중심점을 다음과 같이 정의하였다.

$$P_c = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} p_{i,x}}{n}, \frac{\sum_{i=1}^{n} p_{i,y}}{n}, \frac{\sum_{i=1}^{n} p_{i,z}}{n}\right) \quad (1)$$

(P_c : 면의 중심점, p_i : 둘레 위의 점, n : 둘레 위의 점의 개수)

또한 두 번째 규칙에 따라 입·출구 면에서의 방향을 설정해야 하는데, 입·출구의 둘레를 따라 정의된 삼각형들의 방향을 이용하여 해당 입·출구 면의 방향이 형상의 바깥쪽을 향하도록 설정할 수 있었다.

결과적으로 STL형상의 입·출구를 면으로 채울 수 있었고 이를 기존의 LBM을 이용하여 PLT로 변환하였을 때 형상 내부가 빠짐없이 유체로 정의됨을 확인하였다. PLT파일의 Quality를 형상 내부 노드의 전체 개수 대비 유체로 정의된 노드의 개수로 정의하였을 때, 8개의 서로 다른 혈관 STL 형상에 대하여 형상 후처리 자동화 코딩을 적용하여 PLT Quality 변화를 살펴본 결과 다음과 같이 모두 100%로 향상되었음을 확인할 수 있었다.

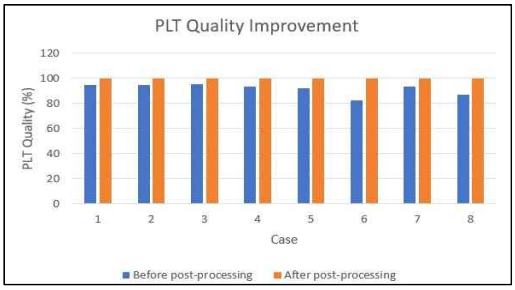

Fig. 2 PLT Quality improvement (8 cases)

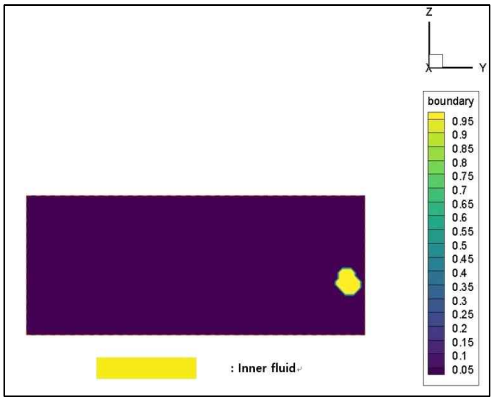

Fig. 3 Cross section(x=8) of geometry after post-processing

3. 결 론

STL 형상의 입·출구 면을 채움으로써 PLT Quality를 100%로 향상시킬 수 있었다. 이는 형상 내부가 모두 유체로 정의되었음을 의미하며, 이 과정은 일정한 알고리즘에 의해 자동으로 이루어졌다. 형상 후처리의 자동화를 통해 수작업에 필요했던 시간 및 인력의 소모를 대폭 줄일 수 있고, 일정한 알고리즘에 의해 형상 후처리가 이루어지므로 시뮬레이션 결과의 객관성을 확보할 수 있다. 최종적으로는 LBM을 이용한 FFR 측정에 있어 신뢰성있는 결과값을 더욱 빠르게 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

참고 문헌

(1) Pijls, N. H. J. et al., 1996, “Measurement of fractional flow reserve to assess the functional severity of coronary-artery stenoses”, New England Journal of Medicine, 334(26), 1703 - 1708.

(2) Kwan, J, 1998, “관상동맥 질환 환자에서 심근 분획 혈류 예비력에 의한 협착 정도의 기능적 평가”, Article, R., 1916 - 1925.

(3) Jamshidi, P. et al, “A new database approach to improve STL files correction algorithms”, 18th International Conference on Production Research