



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0114490
(43) 공개일자 2009년11월04일

(51) Int. Cl.

B81B 7/00 (2006.01) *B81B 3/00* (2006.01)

G01F 22/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-0040150

(22) 출원일자 2008년04월30일

심사청구일자 없음

(71) 출원인

인하대학교 산학협력단

인천 남구 용현동 253 인하대학교

(72) 발명자

원태영

서울 강남구 대치동 506 선경아파트 7-504

조범구

인천 계양구 작전1동 동보2차아파트 105동 1701호

(뒷면에 계속)

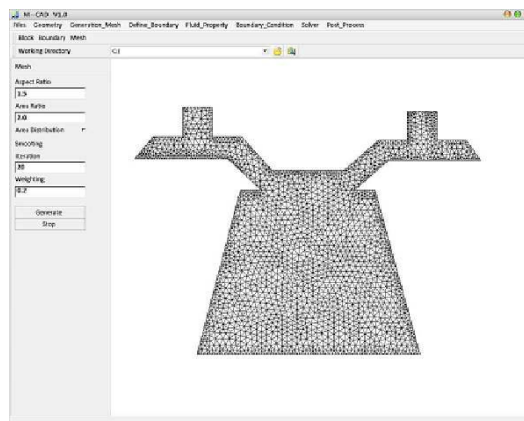
전체 청구항 수 : 총 3 항

(54) 마이크로 밸브 유동 전산 모사기

(57) 요약

본 발명은 마이크로 밸브의 유동을 해석할 수 있는 시스템을 개발하는 것이다. 마이크로 밸브 내부의 형상에 맞추어 자동 격자와 경계 형상을 생성하고, 수치 해석적 방법을 이용하기 위한 비직교 정렬 격자계를 사용한다. 마이크로 밸브는 작동하는데 있어 입·출구 압력차가 발생하고 채널 내부는 Knudsen 수의 조건에서 보면 Knudsen 수가 크지만, Mach 수가 작은 유동을 형성하면 회박도는 크지만 비평형도가 작은 MEMS 유동 조건에 적합한 유동 해석을 할 수 있게 된다. 그러므로 Navier-Stokes 방정식과 slip 경계조건을 적용하여 수치해석 기법인 유한 체적법을 이용하여 마이크로 밸브의 유동을 해석할 수 있는 해석기를 개발하였다.

대표도 - 도3a



(72) 발명자

김병환

서울특별시 광진구 군자동 98

김수연

서울특별시 광진구 군자동 98

특허청구의 범위

청구항 1

마이크로 밸브 유동을 해석하기 위한 수치해석적 방법에 있어서, 유한 체적법을 이용한 마이크로 밸브의 유동 해석기.

청구항 2

제 1항에 있어서, 유동 해석을 위한 마이크로 밸브의 자동 격자 생성기.

청구항 3

제 2항에 있어서, 자동 격자 생성을 위해 사용하는 비직교 다중 격자 시스템에 대한 수치해석 코드.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기술 분야

<1> 마이크로 입자들을 조작하는 것은 생의학 유체분야와 같은 마이크로 유체 분야에서 매우 중요하다. 본 발명은 미소 유량을 정확히 조절하고, 특히 밸브의 성능을 측정하기 위해 수치적 방법인 유한 체적법을 이용한 마이크로 밸브의 유동을 해석할 수 있는 시스템을 개발하는 것이다.

배 경 기 술

- <2> 최근 MEMS 기술의 발달과 더불어 마이크로 펌프, 마이크로 밸브와 같은 미세 유량 제어의 유체 소자에 대한 개발이 진행되고 있다.
- <3> 기체 입자의 상호작용으로 발생하는 여러 물리 현상들은 미시적(microscopic or molecular) 또는 거시적(macroscopic or continuum) 관점에서 해석 될 수 있으며, 이를 해석하기 위한 방법들이 여러 방향으로 진행되어 왔다. 이를 해석하기 위한 물리적인 개념 및 수학적 모델링 과정을 통해 여러 가지 방법들이 제시되어 왔다. 하지만 여러 가지 해석적 모델들은 물리적인 법칙에 어긋나는 가정을 통해 해석이 수행되어 왔으며 많은 한계점을 나타내고 있다.
- <4> 크게 기체 입자들의 운동을 해석하기 위한 모델로써 입자(molecular)와 연속체(continuum) 개념으로 나눌 수 있으며, 입자 모델은 크게 결정적(deterministic) 모델과 확률적(statistical) 모델로 나눌 수 있다. 결정적 방법은 입자 동역학의 개념으로 해석할 수 있으며, 확률적 모델은 입자 상호간의 충돌 모델로 Klimontovich 와 Liouville 방정식으로 나눌 수 있다. 하지만 이런 방법은 복잡한 형태의 모델로써 거의 사용되지 않고 있다. 또한 입자의 운동을 해석하기 위한 수치 해석 기법으로 수확방정식을 이용하는 직접 방법(direct method)과 다수 입자를 사용하여 기체의 운동을 묘사하는 모사방법(simulation method)으로 크게 나눌 수 있다. 직접 방법은 일반적인 유체역학에서 연속체 개념을 도입하여 계산되는 방법이며 모사방법은 기체 입자간의 운동을 해석하게 되는 MD, MC, DSMC 등의 계산법을 사용한다. 유체 유동을 계산시 Knudsen 수가 큰 희박 기체의 유동 현상을 해석하기 위해서는 일반적인 유체 해석이 불가능하게 된다. 이런 문제를 해석하기 위해서 연속모델을 적용하게 되는데 이런 연속모델은 비효율적인 계산 형태를 가지게 된다. 하지만 Knudsen 수가 큰 유동의 경우 해석 하기 위해서는 연속 모델을 적용해야 하는 문제가 있다. 따라서 마이크로 밸브 유동을 해석할 수 있는 새로운 방법이 모색되어야 한다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

<5> 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 제안된 것으로, 정확하게 미소 유량을 조절하고 복잡한 형상에서 밸브 유동에 관련된 속도장을 효율적으로 해석하기 위해서 유한 체적법을 사용한 새로운 해석기를 만드는

것에 그 목적이 있다.

과제 해결수단

- <6> 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 마이크로 밸브 유동을 해석하기 위한 수치해석적 방법에 있어서, 유한 체적법을 이용한 마이크로 밸브의 유동 해석기를 제공한다.

효과

- <7> 이상에서 상술한 바와 같이, 본 발명의 마이크로 밸브 유동 해석기는 종래 기술과는 달리 성능을 미리 예측할 수 있어 설계 비용 측면에서 커다란 장점을 지닌다. 또한 마이크로 밸브의 구조를 변형하여 그에 따른 효과를 시뮬레이션할 수 있어 새로운 구조의 밸브 제작에도 널리 쓰일 수 있는 효과를 제공한다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- <8> 유동해석을 위한 지배 방정식은 다음과 같이 Navier-Stocks 방정식을 ALE (Arbitrary Lagrangian-Eulerian) 좌표계에서 ∂V 로 둘러싸인 임의의 부피 V 의 적분 형태로 나타낼 수 있다.

수학식 1

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \vec{U} dV + \oint_{\partial V} [(\vec{v} - \vec{w}) \vec{U} - \vec{G}] \cdot d\vec{S} = \int_V \vec{R} dV$$

<9>

- <10> 위 식의 변수는 다음과 같이 정의된다.

수학식 2

$$\vec{U} = \begin{bmatrix} \rho \\ \rho \vec{v} \\ \rho E \\ \rho \phi \\ 0 \end{bmatrix} \quad G = \begin{bmatrix} 0 \\ \vec{\tau} \\ \vec{\tau} \cdot \vec{v} + k \nabla \theta \\ d_\phi \nabla \phi \\ d_\psi \nabla \psi \end{bmatrix} \quad R = \begin{bmatrix} 0 \\ \vec{f}^B \\ \vec{f}^B \cdot \vec{v} + q^B \\ S_\phi \\ 0 \end{bmatrix}$$

<11>

- <12> 여기서 $\vec{\tau}$ 는 stress tensor로 다음과 같이 정의된다.

수학식 3

$$\vec{\tau} = -p \vec{I} + 2\mu \vec{e} + \lambda \nabla \cdot \vec{v} \vec{I}$$

<13>

- <14> 위 식에서 $\vec{e}$ 는 strain tensor로 다음과 같다.

수학식 4

$$\vec{e} = [\nabla \vec{v} + (\nabla \vec{v})^T] / 2$$

<15>

- <16> 여기서, $\vec{v}$ 는 속도벡터, $\vec{w}$ 는 이동격자의 속도벡터, P 는 압력, ρ 는 밀도, $E (= \vec{v} \cdot \vec{v} / 2 + e)$

는 비에너지, e 는 내부 에너지, θ 는 온도, μ 는 동역학적 점성계수, λ 는 2차 점성계수, $\vec{f}^B$ 는 유체 체적력, k 는 열전도율, q^B 는 비열, ϕ 는 대류-확산 방정식(d_ψ 와 S_ϕ 는 각각 확산 계수와 Source term)의 변수, 그리고 ψ 는 라플라스 방정식(d_ψ 는 확산 계수)의 변수를 나타낸다.

<17> 유체-구조 상호작용을 고려한 연계해석에 있어 가장 중요한 요소는 경계면 조건의 정의 방법으로 유체-구조 경계면에서 traction equilibrium과 displacement compatibility의 조건이 만족되도록 설정되어야 한다.

<18> Traction equilibrium은 유체와 구조의 stress가 interface의 수직방향을 따라 동일함을 의미하며 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 5

<19>
$$\vec{\tau}_f \cdot \vec{n} = \vec{\tau}_s \cdot \vec{n} \quad (t, x) \in (0, T] \times S$$

<20> 여기서, $\vec{n}$ 은 유체-구조 경계면에 대한 수직방향 단위벡터를 의미한다.

<21> Displacement compatibility는 경계면을 따라 유체와 구조의 변위가 동일함을 의미하며 다음과 같이 표현할 수 있다.

수학식 6

<22>
$$d_f = d_s \quad (t, x) \in (0, T] \times S$$

<23> 본 발명에서 마이크로 밸브는 압력에 의해 여닫는 형태의 시스템을 적용하고 있다. 마이크로 밸브의 기본적인 메커니즘은 단순한 구조를 가지고 있다. 도1에서 보듯이 membrane의 변화에 따라 입·출구 밸브의 개폐가 결정된다. 입구밸브는 상판 membrane이 위쪽으로 변형됨에 따라 열리고 chamber 내에 체적이 증가한다. 이에 따라 입구에서 유량이 유입되고 membrane이 아래로 변형됨에 따라 입구 밸브는 닫히게 되고 출구 밸브가 열리게 되어 유입되었던 유량이 출구 밸브를 통해 배출된다. 마이크로 밸브의 반복적인 과정을 해석하기 위해서는 마이크로 채널을 지나는 유동현상에서 유사한 형태이므로 본 발명에서는 마이크로 채널의 특징적인 해석 모델을 적용하게 된다.

<24> 본 발명에서는 자동 격자생성에 기본을 두고 마이크로 밸브의 기본적인 형태에 밸브의 개폐시 단일 형태에서의 격자생성을 수행하였다. 다음 도3a는 user가 계산하고자하는 형상을 생성하는 과정을 보이고 있다. 다음 도3b, c, d는 마이크로 밸브의 개폐시 발생하는 유동현상을 자동 생성된 격자계에서 수행한 결과이다. 입구 밸브가 열릴 때 밸브와 벽면의 좁은 유로를 통해 유량이 유입되고 밸브 상부의 층류 박리가 형성된다. 이렇게 유입된 유량이 밸브내 출구 밸브를 통해 빠져나가는 것을 볼 수 있다. 이 밸브의 작동 원리는 마이크로 밸브 상판의 pumping 효과에 의해 위로 membrane이 움직일 때 입구 밸브가 열리게 되고 유량이 펌프내 체적내로 유입되며 membrane이 아래로 움직일 때 입구 밸브는 닫히게 되고 유량이 유입되지 못하게 하여 유체의 흐름을 조절하는 것이다.

도면의 간단한 설명

<25> 도1은 마이크로 밸브의 작동 원리 개념도면.

<26> 도2는 마이크로 밸브의 작동 원리를 나타내는 도면.

<27> 도3a는 본 발명에 따라 자동 격자 생성을 위한 경계형상 생성하는 도면.

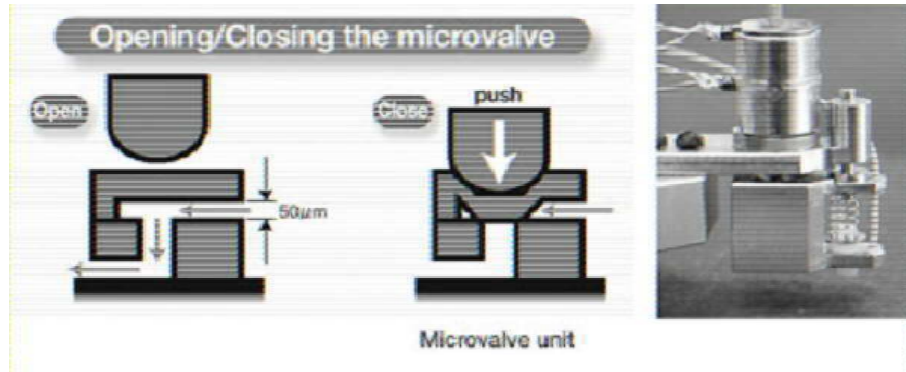
<28> 도3b는 본 발명에 따라 출구 밸브가 열릴 때의 Streamline Plot을 나타내는 도면.

<29> 도3c는 본 발명에 따라 출구 밸브가 열릴 때의 Vector를 나타내는 도면.

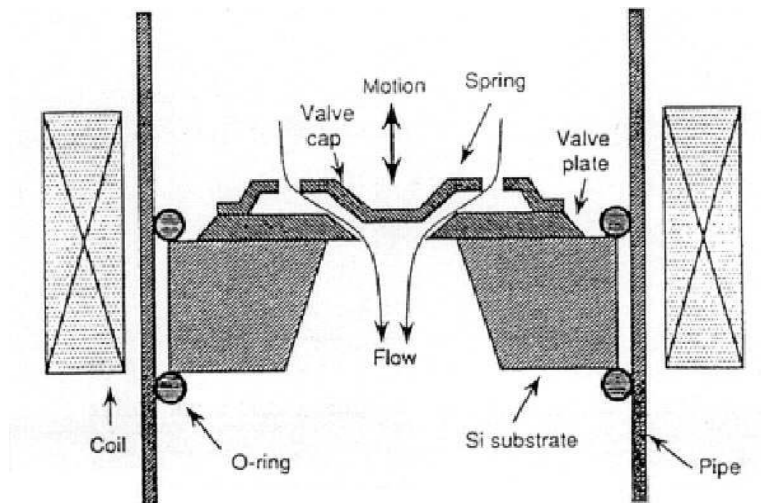
<30> 도3d는 본 발명에 따라 출구 밸브가 열릴 때의 압력을 나타내는 도면.

도면

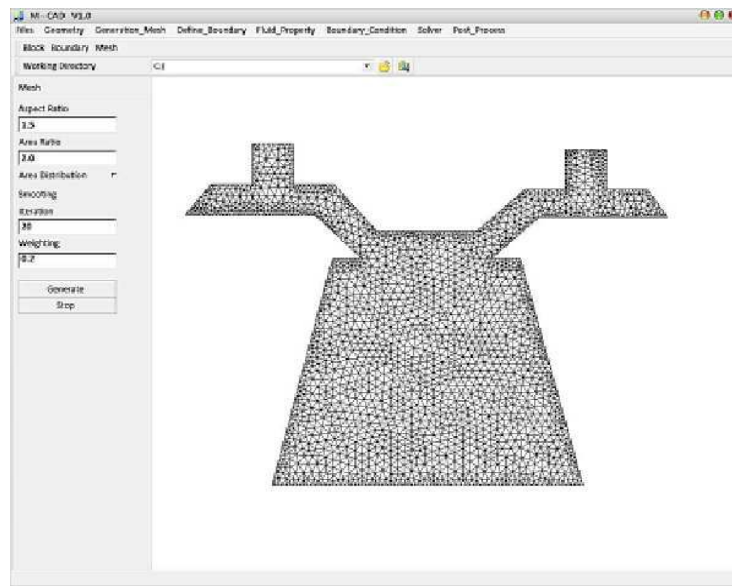
도면1



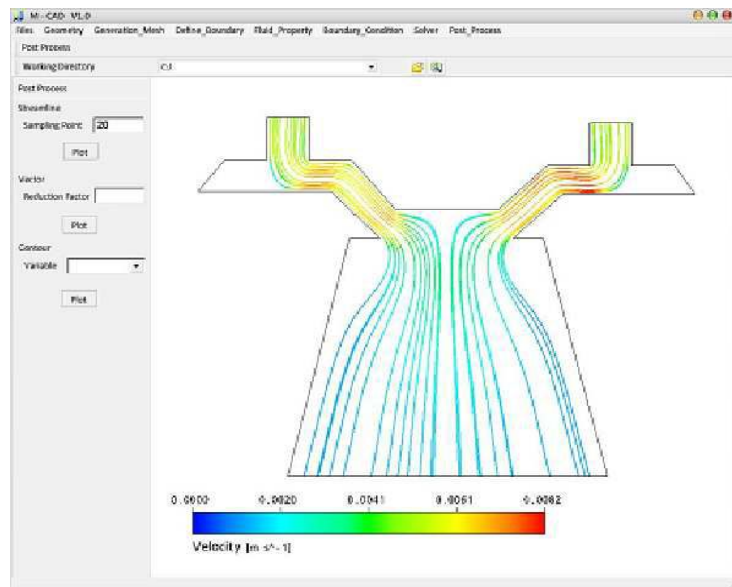
도면2



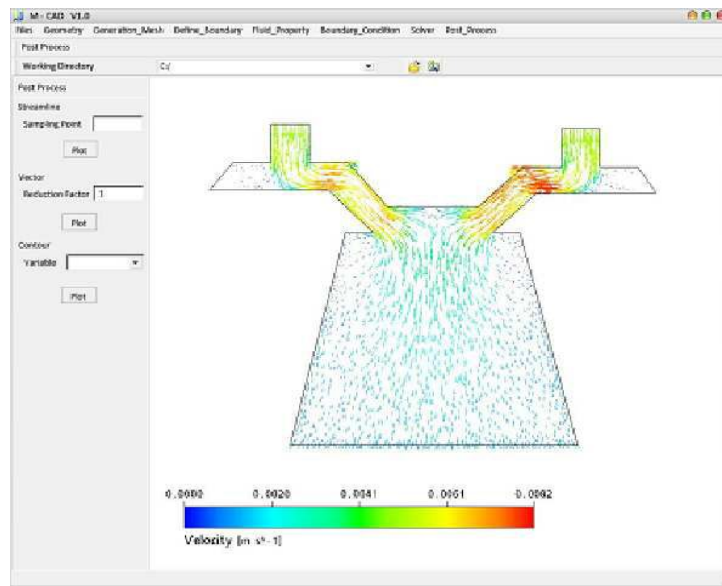
도면3a



도면3b



도면3c



도면3d

