

블록이 주기적으로 배열된 마이크로 채널에서의 교반해석

허형석*·서용권**

A Study on the Advection in a Micro Channel with Multi blocks

Hyeung Suk Heo*, Yong Kweon Suh**

Key Words : MEMS(마이크로 전기기계 시스템), Mixing(혼합), advection(교반)

Abstract

Numerical study on the advection in a microchannel with multi blocks has been performed. the microchannel is simulated three-dimensionally using a commercial fluid analysis code, FLUENT 6.0. Geometric factors of blocks are used in analysing the mixing effect. the numerical results show that the height of blocks in the channel is a key factor. Further study is required to investigate mixing effect of the microchannel with various shapes.

1. 서론

최근 생명공학(Bio-technology)에 대한 관심이 집중되면서 Bio-MEMS라는 연구가 활발히 진행되고 있다. Bio-MEMS는 MEMS을 이용하여 생명공학에 적용하는 기술로써 혈관 내부유동 해석 및 제어, 단백질, 핵산, DNA등 생체분자들의 작용 분석, 또는 각종 세포조직의 현상 해석등을 취급하고 있다. 그리고 이러한 일련의 해석 연구들 중 전체 해석과정을 대규모 실험실에서 이루고 있던 것을 동전크기의 칩 위에서 하려는 노력을 하고 있다. 일명 랩온칩(Lab-on-a-Chip)이라고 부르는데 이것은 위 사항 전체과정 - 시료채취, 전처리, 반응, 검출, 데이터처리 - 을 조그마한 칩 위에서 하려는 것이다. 이 과정의 장점은 초고속으로 분석(수초 ~ 수분)이 가능하며 시료 및 시약의 소모량을 최소화(~nL) 할 수 있으며 휴대가 가능하며 저가, 대량 생산이 가능하다는 장점이 있다. 하지만 국내 기술여건상 거의 외국 선진 기술을 모방하는 수준이며 구체적인 연구는 시작 단계에 불과하다. 한편, 최근 연구들로는 초음파를 이용하여 마이크로 단위의 미세 구멍을 가공하는 기술을 연구⁽¹⁾하고 김과 허⁽²⁾ 그리고 이와 김⁽³⁾은 마이크로 채널내의 유동에 대한 실험적 해석기술에 대하여 연구하고 있고 한⁽⁴⁾은 랩온칩을 제작하여 실제 생체/화학 분석등에 응용하고 있다. 이러한 기술외에도 마이크로 열 교환기⁽⁵⁾, 마이크로 펌프, 마이크로 믹서등의 다양한 제품 개발에 일련의 노력을 하고 있다.

본 연구에서는 이러한 연구과정 중 마이크로 믹서에 대한 연구 과정이며 이것은 유동 해석의 가장 기본적인 채널유동을 바탕으로 한 것이다. Aref⁽⁶⁾은 이 채널유동을 혼돈적 교반(chaotic advection)을 이용하여 저레이놀즈수에서 여러 가지 채널의 모양을 설정하여 혼합 효과에 대하여 연구를 하였다. 이 연구에서는 채널의 기하학적 형상을 다소 복잡하게 형성하여 혼합효과를

높였다, 하지만 본 연구에서는 더욱더 간단한 구조로 혼합 효과를 높일 수 있다는 생각을 하였다. 그리고 서와 김(7)은 층류조건에서 스크류 내부의 유동을 플라이트(flight)의 배치를 변경하여 혼돈적 교반의 관점에서 연구한바가 있다. 본 연구에서 이러한 관점들을 참고하여 미소채널 내부에 블록을 설치하여 이 블록의 크기, 위치 등을 변경하여 혼합 효과를 보고 마이크로 단위의 해석을 상사성 해석의 가능성을 보고자 한다.

2. 유동모델 및 수치해석 기법

2.1 유동모델

Fig. 1은 본 연구에서 사용된 해석모델의 형상요소이다. 채널 단면은 정사각형의 형태이며 채널내에 바닥면에 있는 육면체 블록의 단면도 정사각형의 형태이며 $h = 0.2 \times H$ 의 비를 이루고 있다. 블록은 y방향 기준으로 45°경사지게 둔 것을 기본으로 하고 높이(h), 경사각(α), 피치(s)를 변경하여 각 파라미터에 따라 혼합효과의 차이를 보고자 한다.

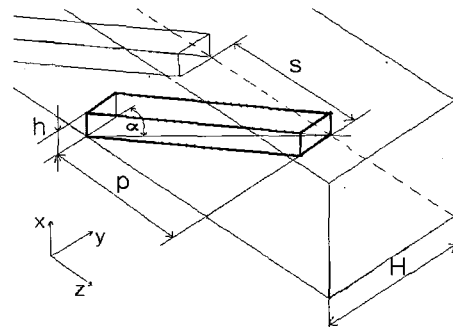


Fig. 1 Perspective view of the flow domain surrounded by a channel with blocks at the bottom wall

* 동아대 대학원, hshuh5946@hanmail.net

** 동아대 기계산업시스템공학부, yksuh@mail.donga.ac.kr

마이크로 채널내의 유동은 레이놀즈수가 작은 층류유동이라고 볼 수 있다. 본 연구에서는 레이놀즈수를 10으로 고정하고 같은 레이놀즈수의 조건에서 형상을 변경하여 어떤 조건에서 더 향상된 혼합효과를 얻을 수 있는지 알아보는 것이 목적이다.

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} \quad (1)$$

마이크로 채널내 혼합 효과를 관찰하고자 하는 이 연구에서 식(1)의 무차원인 레이놀즈수를 활용하여 마이크로 차원에서 연속체 성질과 레이놀즈 유사성을 적용할 수 있다는 가정하에서 해석을 수행한다. 실제 마이크로 믹서의 경우 혼합하고자 하는 용액이 두가지 혹은 세가지 용액이 $500\mu m^2$ 정도되는 면적의 채널입구에 유입된다. 비록 평균유속(V)와 대표길이(D)가 작지만 레이놀즈수를 작은 경우라도 수치해석 및 실험을 통한 유동해석을 마이크로 차원의 경우를 충분히 적용할 수 있을 것이라 생각된다.

2.2 수치해석조건 및 사용 Tool

Fig. 1에서 보여준 해석 모델에 대하여 입출구 경계조건으로 입구유속은 0.14m/s, 출구 압력은 0의 압력구배 조건을 부여하였다. 그리고 벽면 경계조건으로 비침투 조건과 노슬립 조건을 부여하였다. 한편, 본 해석을 위하여 열유체 해석에 있어서의 보편적인 신뢰성을 구축하고 있는 상용코드(FLUENT 6.0)를 사용하였다.

3. 결과 및 검토

Fig. 2는 45°경사진 블록내의 유동에 대한 속도분포와 채널 내 입자의 거동을 나타낸 것이다. Fig. 2(a),(b),(c),(d)는 블록과 블록사이의 한 블록을 3등분하여 그 블록 내의 입구, 중간부분 그리고 출구부분의 유동장을 나타낸 것이다. 주유동 방향은 좌측에서 우측 채널방향이다. Fig. 2(a)의 경우 우측블록에서는 source가 되고 좌측블록에는 sink가 된다. 이것은 source부분이 블록의 시작부분에서 나타나는 현상이며 sink부분은 블록의 끝부분에서 나타나는 현상이다. 그리고 약한 효과지만 중심부분에는 saddle point가 확인된다. Fig. 2(b),(c)는 Fig. 2(a)의 source부분의 발생 유동이 시계방향으로 회전하는 방향의 유속을 나타내며 이 유동은 결국에는 채널 전체를 차지하고 있는 것을 확인할 수 있으며 sink부분은 사라지고 없어졌다. Fig. 2(d)는 Fig. 2(a)와 비슷한 유동장을 나타내고 있으며 이러한 현상은 각 주기마다 일정한 형상을 보여주고 있다.

Fig. 2(e),(f),(g),(h)는 유동 입자의 거동을 살펴 본 수치해석 결과이다. 각 결과들은 채널 전체길이를 3등분하여 입구, 중간부분 그리고 출구부분에서 입자의 거동을 살펴보았다. 채널입구에서 일정한 분포를 보이던 입자들은 시계방향의 유동영향으로 채널의 중간부분에서 일정한 분포가 점점 일그러짐에 따라 채널 정사각형 전체를 차지하는 입자중 블록과 가까운 부분의 입자들이 점차 혼합이 되어가고 있는 것을 볼 수 있으며 결국 출구에서는 중앙부분에 분포하던 입자들이 벽면방향으로 점차 늘어나고 있는 것을 확인할 수 있으며 좌측부분에 있던 입자들 중 부분은 중앙으로 늘어져가고 아래 부분의 입자들과 겹치는 것을 확인할 수 있다.

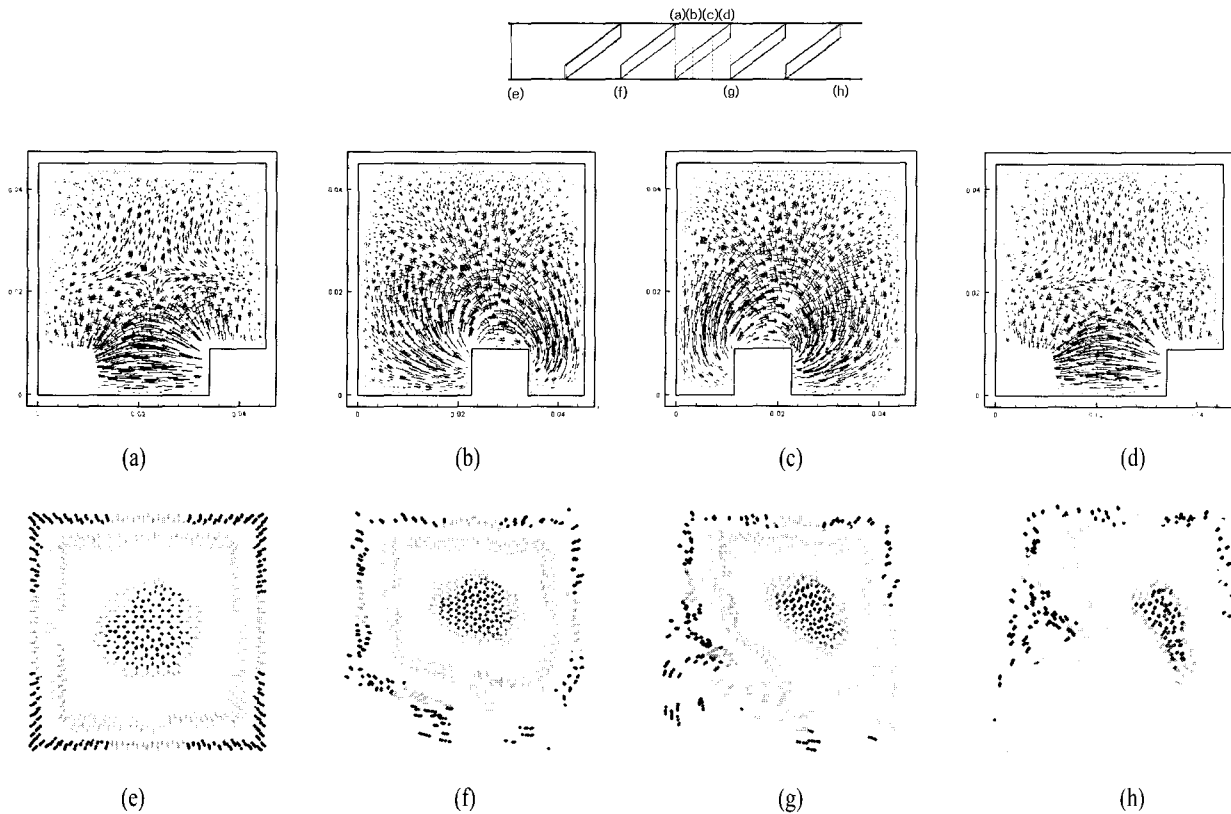


Fig. 2 Flow distribution in the channel & Dispersion of particles($h = 0.2H$, $\alpha = 45^\circ$, $s = 1p$)

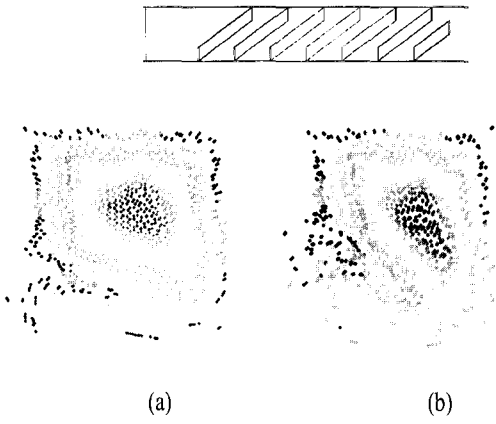


Fig. 3 Dispersion of particles
($h = 0.2H$, $\alpha = 45^\circ$, $s = 0.71p$)

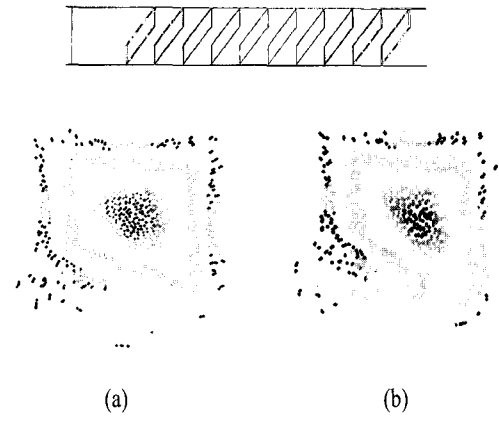


Fig. 5 Dispersion of particles
($h = 0.2H$, $\alpha = 30^\circ$, $s = 0.5p$)

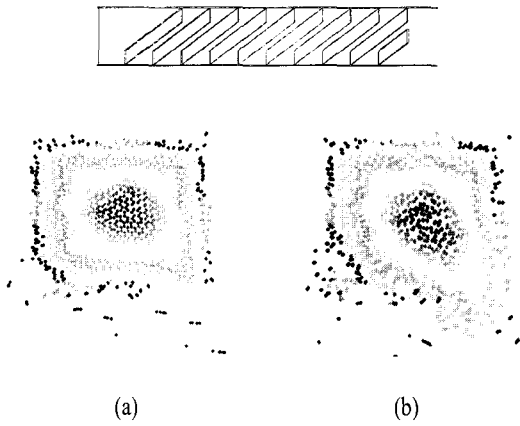


Fig. 4 Dispersion of particles
($h = 0.2H$, $\alpha = 45^\circ$, $s = 0.5p$)

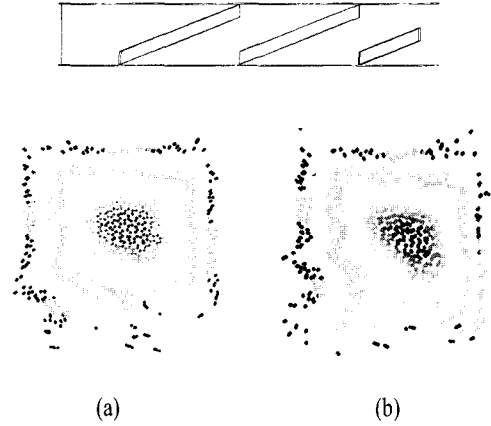


Fig. 6 Dispersion of particles
($h = 0.2H$, $\alpha = 60^\circ$, $s = 2p$)

Fig. 3,4-(a),(b)는 블록간의 피치를 $0.71p$, $0.5p$ 로 변형하여 채널 중간과 출구에서의 입자 거동을 나타낸 것이다. 여기서 기본구조의 피치보다 크다고 하여 혼합효과 및 입자의 거동이 더 활발하게 이루어지지는 않았다. 그리고 피치가 작은 경우 기본적인 구조 및 피치가 상대적으로 큰 경우보다 입자의 거동이 미약한 것을 볼 수 있다.

Fig. 5,6-(a),(b)는 블록을 30° , 60° 경사진 형태에서 채널 중간과 출구에서의 입자 거동을 나타낸 것이다. 기본구조와 비교하여 경사각이 작은 것은 좌측 하단에 있던 입자들과 중앙부분의 입자가 조금 이동이 있을 뿐 전체적으로 큰 변화를 나타내지 못하고 있다. 그리고 경사각이 큰 경우도 같은 결과이며 오히려 경사각이 작은 경우와 비교하여 입자의 거동이 더욱더 미약한 결과를 볼 수 있다.

Fig. 7(a),(b)는 블록의 높이를 $h = 0.4H$ 로 변형한 형태에서 채널 중간과 출구에서의 입자 거동을 나타낸 것이다. 채널 중간 부분에서부터 입자는 상당히 늘어난 상태이다. 중앙부분의 입자는 우측으로 밀려나 있고 좌측부분의 입자들은 벌써 중앙부분으로 늘어나서 들어가고 있다. 출구부분에서의 입자분포를 보면 우측으로 밀려나 있던 입자들은 좌측 하단으로 길게 늘어나 있

들은 이제는 중앙부분을 지나 아래방향으로 늘어나고 있다. 이 결과는 다른 결과들과 비교하여 상당히 혼합효과가 좋은 것으로 나타나고 있다. 같은 채널길이와 같은 레이놀즈수의 유동인 다른 결과들과 비교하여 중심부에 있던 입자들이 시계 방향으로 회전하며 늘어나고 아래 또는 좌측 부분에서 겹치는 현상을 나타내고 있다.

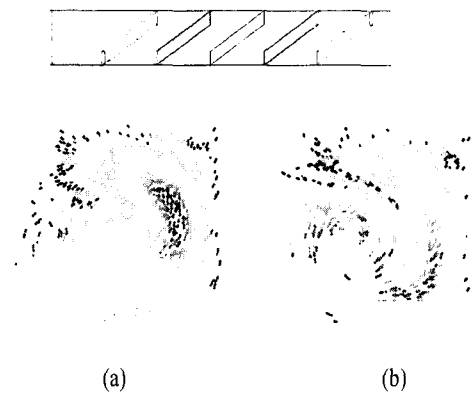


Fig. 7 Dispersion of particles
($h = 0.4H$, $\alpha = 45^\circ$, $s = 1p$)

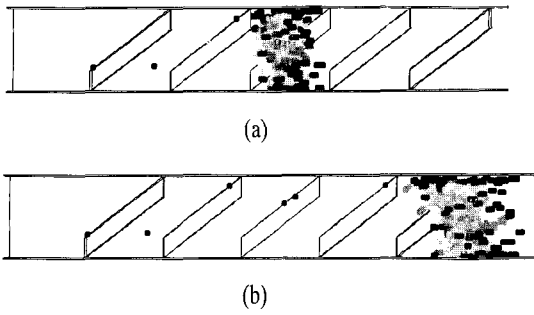


Fig. 8 Dispersion of particles
($h = 0.2H$, $\alpha = 45^\circ$, $s = 1p$)

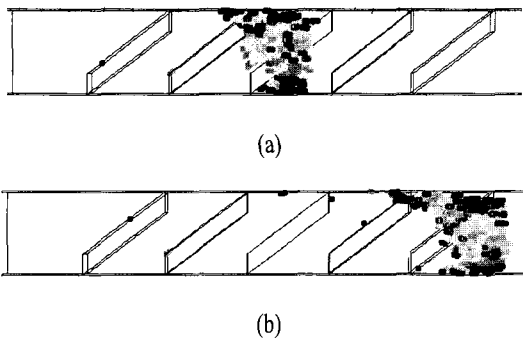


Fig. 9 Dispersion of particles
($h = 0.4H$, $\alpha = 45^\circ$, $s = 1p$)

Fig. 8,9는 입자의 거동을 채널 위에서 아래 방향으로 바라본 것이다. Fig. 8은 블록이 기본적 구조인 경우의 거동양상이고 Fig. 9는 블록의 높이를 $h = 0.4H$ 로 변형한 경우이다. 입구에서 일정한 분포의 입자는 얇은 평면상태에서 출발하지만 두 그림을 비교하여 보면 채널 중간까지는 비슷한 분포로 거동을 하지만 상부측 벽면부근에서 Fig. 9의 입자가 더욱더 넓게 분포하고 있

는 것을 볼 수 있으며 결과적으로 블록의 높이가 높은 것이 분포폭이 더욱더 넓게 나타남을 알 수 있다.

4. 결론

수치해석을 이용하여 저 레이놀즈수 유동에 대한 채널내의 혼합효과에 대하여 알아보았다.

같은 레이놀즈 수 ($Re = 10$)에 대하여 채널내 블록형상의 변화에 따라 혼합효과가 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 같은 채널길이에 대하여 블록경사각, 블록간의 피치, 블록 높이를 변경하여 살펴보았으며 블록경사각의 변화, 블록간의 피치변화에 의한 혼합효과는 기본적인 블록형상을 이용한 혼합효과에 비하여 향상된 결과를 나타내지 않았으나 블록 높이의 변화에 대한 결과는 보다 향상된 혼합결과를 나타내고 있다. 차후 실험을 통한 검증이 필요하며 레이놀즈수를 변경한 경우도 고려할 필요가 있다.

참고문헌

- [1] 이봉구, 최현중, "초음파 진동을 이용한 세라믹스의 미세 구멍 가공 기술", 한국정밀공학회, (2002), pp.988-992.
- [2] 김형우, 허남건, "미소 유로에서의 유동특성에 관한 실험적 연구", 한국유체공학학술대회, (2000), pp.423-426.
- [3] 이상준, 김국배, "마이크로 채널 내부 유동의 Micro-PIV측정과 제반 문제점", 한국가시화정보학회, (2002), pp.79-84.
- [4] 한중훈, "The Need for Visualizing Microflows in Lab-on-a-Chips", 한국가시화정보학회, (2002), pp.9-30.
- [5] Geunbae, L., "MEMS & Micro Fluids", 한국가시화정보학회, (2002), pp.31-49.
- [6] Aref, H., "The development of chaotic advection", *Phys. Fluids*, Vol. 14 (2002), pp.1315-1325.
- [7] 서용권, 김용균, "압출용 스크류 모델에서의 혼돈적 교반", 대한기계학회 논문집, 제21권 제12호, (1997), pp.1615-1623.
- [8] User's Guide, FLUENT 6.0.