

재순환 공간 추가에 의한 다적층 마이크로 혼합기의 효율 향상

이종광*, 김용대, 권세진 (한국과학기술원 항공우주공학과)

Improvement of Mixing Efficiency of Multilamination Micro Mixer Including Recirculation Zone

Jongkwang Lee, Yongdae Kim, Sejin Kwon (Aerospace Eng. Dept., KAIST)

ABSTRACT

It is so difficult to small amounts of two or more fluid species into single in microchannel because flows are usually laminar. In this regard multilamination micro mixer including recirculation zone is presented. Alternating feed micro channels make multilamination and converging-diverging channels form recirculation zone. Multilamination with geometric focusing decreases diffusion path and recirculation zones make vortex. In this paper flow patterns and mixing properties of multilamination micro mixer including recirculation zone were investigated by Computational Fluid Dynamics (CFD). The CFD results provided qualitative information on mixing.

Key Words : Micro mixer (마이크로 혼합기), Multilamination (다적층), Recirculation zone (재순환 공간), Carbon fiber (탄소섬유), Cutting force (절삭력)

1. 서론

마이크로 시스템의 가능성이 고기능성, 경량화, 저가 대량 생산의 장점을 제공할 수 있는 MEMS 기술 개발과 함께 제시되면서 효율적인 장치를 개발하기 위한 연구들이 수행되고 있다. 이 중 다양한 응용 분야를 가지며 높은 시장성을 지닌 마이크로 반응 시스템의 경우 다른 어느 분야 보다도 빠른 속도로 증가하고 있으며, 마이크로 반응 시스템의 대표적인 것이 마이크로 플랜트(Micro Plant)이다. 마이크로 플랜트는 기존의 거대한 화학 공정용 플랜트에서 소요되는 많은 양의 시약과 오랜 반응 시간을 줄여, 이에 따른 비용과 시간을 줄일 수 있는 장점과 더불어 기존의 소품종 대량 생산 방식에서 벗어나 다품종 소량 생산 방식으로 전환을 가능케 하여 시장에 보다 능동적으로 대응할 있게 하였으며, 마이크로 플랜트에 필요한 모듈로는 마이크로 반응기와 마이크로 열교환기 그리고 마이크로 혼합기등이 있다.⁽¹⁾ 본 연구의 목표는 앞서 언급한 화학 공정 반응용 모듈 중 액체나 기체간의 적절한 혼합을 가능케하는 마이크로 유체 혼합기의 개발이다.

마이크로 혼합기는 짧은 특성 길이로 인하여 낮은 레이놀즈 수를 가지게 되며, 그에 따라 층류가 형성되기 때문에 확산에 의한 혼합이 지배적이다. 확산을 이용한 혼합은 유체의 접촉 면적을 증가시키거나 확산 거리를 감소 시킴으로써 혼합을 증진시킬 수 있으며, 마이크로 채널 내에

구조물을 삽입하여 유동을 교란시키는 방법에 관한 연구 결과들도 보고되고 있다.^{(2),(3)}

본 연구에서 사용될 혼합 방법은 다적층 방식(multilamination)으로 다수의 입구 채널에서 엇갈리게 두 유체를 공급한 후 이들을 하나의 채널로 수축시켜 유동간의 확산 거리를 감소 시키는 방법과 채널을 수축-확장하여 와류를 발생시키는 방법을 사용하는 방식으로(그림 1), 본 논문에서는 수치 해석에 대한 결과를 보고하겠다.

2. 마이크로 혼합기의 수치 해석

마이크로 혼합기의 해석은 보편적인 신뢰성이 입증되어 있는 상용 코드인 FLUENT 를 사용하였고, 수치 확산을 최소화하기 위하여 중 보존식을 QUICK scheme 으로 차분화된 식을 계산하였다. 혼합기의 성능은 식(1)과 같이 함수 Residual 를 정의하여 혼합 성능을 정량적으로 평가하였다.

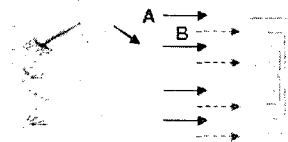


Fig. 1 Schematic of multilamination micro mixer including recirculation zones

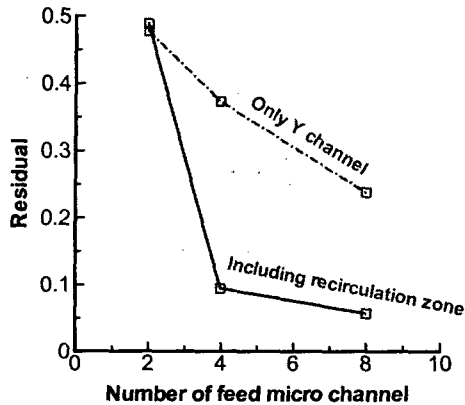


Fig. 2 Mixing residual as a function of number of feed micro channel

$$Residual = \frac{1}{A} \int |Y_i - 0.5| dA \quad (1)$$

혼합의 정도를 정량적으로 평가하는 Residual 은 0.5 일 경우 혼합이 전혀 일어나지 않음을 의미하며, Residual 이 0 인 경우 혼합이 완전히 일어남을 의미한다.

계산에 사용된 마이크로 혼합기 채널의 폭은 150 μm , 높이는 500 μm 이다. 마이크로 채널과 수축-확장 구간의 면적비는 8 이며 8 개의 입구 채널에서 두 유체가 엇갈리며 주입된다. 또한 입구 채널 역시 채널의 폭은 150 μm , 높이는 500 μm 이며, 채널 사이의 벽 또한 같은 크기이다. 두 유체의 체적 유량은 각각 50ml/hour 이며 이 때 혼합 채널에서의 레이놀즈 수는 85 이다.

그림 2 에서는 재순환 공간에 추가된 경우와 재순환 공간이 없이 Y 채널인 경우에 입구 채널의 수가 혼합에 주는 영향을 보여주고 있다. 입구 채널이 2 개인 경우는 재순환 공간이 없는 경우와 비교하면 오히려 혼합 효율이 감소하였다. 이는 재순환 공간의 추가로 확산 거리만 증가하였기 때문이다. 즉 재순환 공간의 추가는 입구 채널이 4 개 이상일 경우에 혼합에 효과적으로 기인하는 것을 확인할 수 있다. 이는 재순환 공간에서 두 개의 유체가 같이 존재하며 수축 확장 채널에서 재순환을 하는 것이 두 유체간 접촉 면적을 증가시켜야 혼합이 활발히 일어나기 때문이다. 또한 재순환 공간으로 들어가는 두 유체의 층이 많을수록 이와 영향은 더욱 증가하여 혼합을 증진시킨다. 이와 같은 결과는 그림 2 에서 재순환 공간에 추가된 경우 입구 채널이 증가할수록 혼합 효율이 증가하는 것을 통해 확인할 수 있다.

그림 3 은 재순환 공간을 가지며 입구 채널이 8

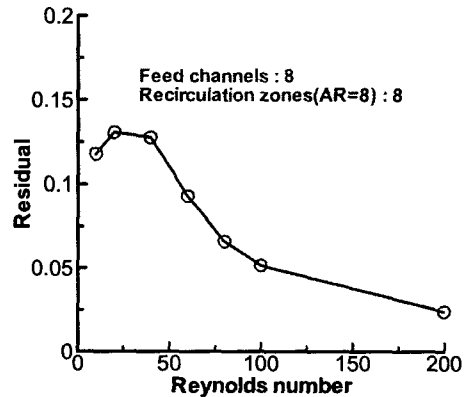


Fig. 3 Mixing residual as a function of number of Reynolds number

개인 경우의 결과는 제시하였다. 레이놀즈 수가 40 미만에서는 수축-확장 구간에서 와류가 발생하지 않으며, 확산에 의한 혼합만이 존재한다. 레이놀즈 수가 40 이상인 경우 와류가 발생하기 시작하며 혼합 효율을 증가하는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 마이크로 플랜트에 적합한 마이크로 혼합기의 개념으로 재순환 공간이 추가된 마이크로 혼합기의 개념을 제시하였으며, 수치 해석을 통한 성능 평가를 통해 제시한 혼합 모델의 성능을 확인하였다.

후기

본 연구는 산업자본부가 지원하는 차세대 신기술개발사업 중 한국기계연구원이 주관하고 있는 고기능 초미세 광·열유체 마이크로 부품 기술개발사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분들께 감사드립니다.

참고문헌

1. W. Ehrfeld, et al, Micro reactor.
2. Nam-Trung Nguyen, et al, "Micro mixer - a review," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, vol.15, pp.1~16.
3. Abraham D. Stroock, et al, "Chaotic mixer for micro channels," *Science*, Vol.295, pp.647~651.