

속도/농도 동시측정에 의한 회전교반기 내부 유동의 baffle 효과에 관한 연구

김윤기* · 민영욱** · 김경천†

A Study on the baffle effect in a stirred mixer using simultaneous measurement of velocity/concentration fields

Yun Gi Kim, Young Uk Min and Kyung Chun Kim

Abstract

Simultaneous measurement of velocity and concentration fields in a stirred mixer flow using a combined Stereo-PIV/Planar-LIF technique is carried out. Instantaneous velocity fields and concentration fields represent the local flow characteristics. A baffle is perpendicularly attached to the Wall to remove inactive region which shows very slow dispersion. It is found that the baffle produces tip vortex and breaking the divided streamline, so that mixing efficiency could be increases significantly.

Key Words : Stereoscopic PIV(스테레오 입자영상유속계), PLIF(평면레이저형광여기법), Stirred Tank(회전교반기), Inactive Region(비활성영역)

기호설명

D	임펠러 공칭직경
T	탱크의 직경
C	터빈의 수직중심과 탱크 바닥과의 거리
$I_{i,j}^*$	무차원 강도
C^*	무차원화 된 농도장
$\langle C^*(x) \rangle$	앙상블 평균 농도장
$\langle C^*(x) \rangle$	분산장

1. 서 론

회전교반기는 화학공정(chemical processing), 식품 제조공정(food & beverage), 하수처리공정(wastewater treatment) 다양한 분야에서 널리 쓰이는 혼합기구이다. 회전교반기 산업은 현재 매우 활발하게 진행되고 있으며 그 시장도 매우 넓다.

Rushton Turbine 은 가장 많이 쓰이는 임펠러중 하나이다. Rushton Turbine 주위의 유동장에 대한 많은 연구가 있었다. Houcine(1996)등은 PLIF 기법을 이용하여 회전교반기 내의 농도장을 측정하였다⁽¹⁾. 최근 Kim 등은 Rushton turbine 주위의 속도/농도 동시측정을 수행하여 Fig. 1 에서 보는 바와 같이 임펠러 상부에 염료가 침투하지 못하는 Inactive 영역이 있음을 확인하였다⁽²⁾.

본 연구에서는 동시측정 기법을 이용하여 2.5 초 간격으로 3 차원 속도장과 농도장을 구하였다. Baffle 의 사용여부를 변수로 하여 Baffle 이 혼합에 어떤 영향을 미치는지 두 경우를 비교하여 분석하였다.

† 부산대학교 기계공학부
E-mail : kckim@pusan.ac.kr

* 부산대학교 기계공학과

** 부산대학교 기계공학과

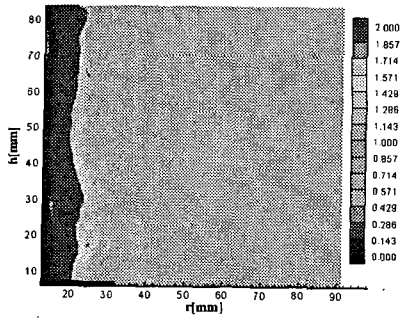


Fig. 1 Inactive Region with no baffle

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치의 구성

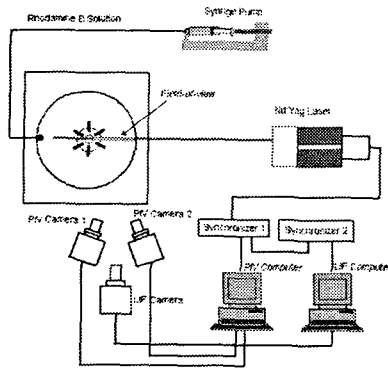


Fig. 2 Experimental setup

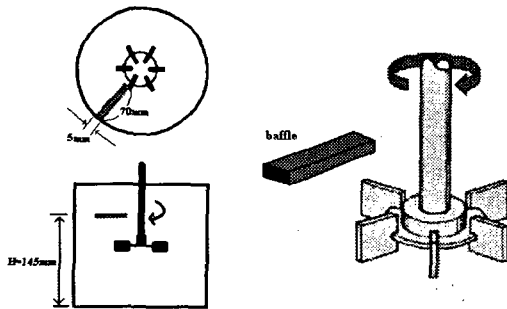


Fig. 3 Baffle-added stirred mixer

본 연구에 사용된 실험장치는 Rushton Turbine Mixer 이며, Fig. 2 에 개략도가 나와있다. 임펠러는 공칭직경(D)이 63.3mm 인 six-bladed Rushton turbine 을 사용한다. 혼합탱크의 내부직경(T)는 190mm 이며 원통형 탱크속에는 증류수를 190mm 깊이만큼 채운다. 곡면에 의한 광학적인 왜곡현상을 최소화시키기 위해 원통형 탱크 외부에는 사각형의 상자를 설치하고, 상자와 원통사이의 공간에는 증류수를 채운다. 그리고 형광염료의 정밀한 주입을 위해 10ml 주사기를 syringe pump 에 장착하였다. 주사기에는 긴 원형단면의 줄을 연결하고 그 주입구

를 바닥면으로부터 143mm 높이에 고정시켰다.

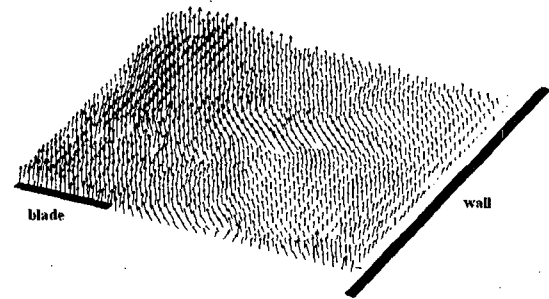
Fig. 4 는 Fig. 3 의 실험장치에 baffle 을 부착한 교반기를 나타낸다. Baffle 을 부착한 것 외의 실험조건은 동일하다.

2.2 실험방법

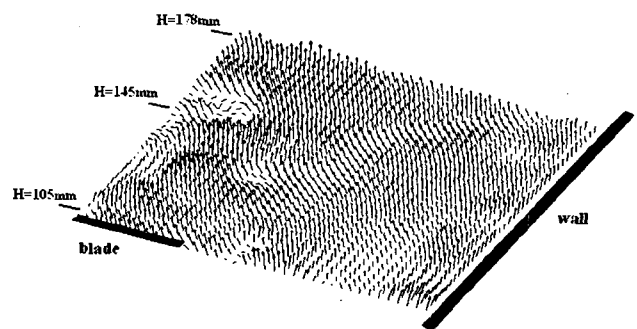
실험은 batch 모드로 진행되었으며 속도장의 측정을 위해 Hollow grass 입자를 사용하였고, 농도장 측정을 위해 Rhodamine B 용액을 사용하였다. Fig. 2 에서 볼 수 있는 바와 같이 카메라 렌즈에 각각 다른 filter 를 장착하여 stirred tank 와 가까운 쪽의 두대의 카메라는 속도를 계측하고 그 뒤에 있는 카메라는 농도를 계측한다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 속도장



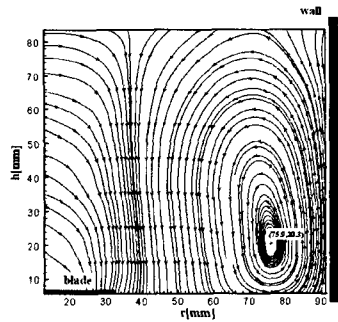
(a) no baffle



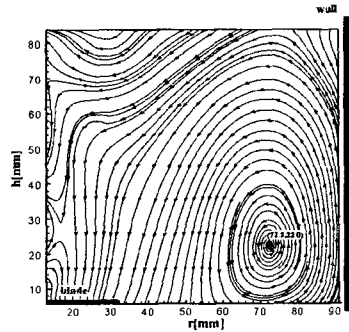
(b) with baffle

Fig. 4 Instantaneous 3D-velocity field

Fig. 4 는 교반기내의 3 차원 순간속도장을 나타낸다. Fig. 4(a)는 baffle 이 없는 경우이다. Baffle 이 없는 경우 축 근처에서 매우 강한 회전이 이루어지고 있음을 알 수 있다. Fig. 4(b)에서 높이 145mm 에 baffle 로 인한 끝단와류가 생성되는 것을 확인할 수 있다.



(a) no baffle



(b) with baffle

Fig. 5 Streamlines for ensemble averaged velocity field

Fig. 5 는 속도장의 평균으로부터 구해진 유선을 나타낸다. 임펠러 영역에서 벽에 부딪힌 유체가 벌크영역으로 흘러들어오면서 ring vortex 가 생성된다. Fig.4(a)는 축 근처 Inactive 영역이 벌크영역과 분리됨을 보여준다. Baffle 을 설치한 경우 분리 유선이 사라졌음을 Fig. 4(b)를 통해 알 수 있다.

3.2 농도장

Fig. 6 은 시간에 따른 농도장의 평균값을 나타낸 그래프이다. 0~24 초까지는 염료가 주입되고 있으므로 농도는 계속해서 증가한다. 그리고 염료의 주입이 끝나는 시점부터 벌크영역에 모여있던 염료가 확산되면서 농도는 1 까지 감소된다. Baffle 이 있는 경우 Inactive 영역의 농도가 증가한 만큼 전체적으로 높은 값을 보인다. Fig. 7 은 시간에 따른 분장장의 평균값을 나타낸 그래프이다.

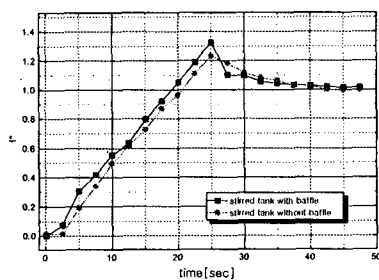


Fig. 6 Area average of concentration field

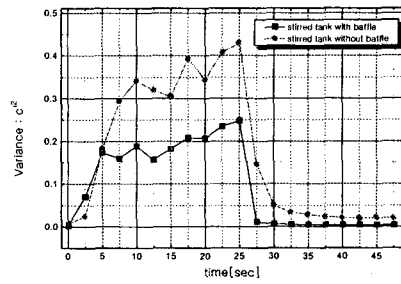
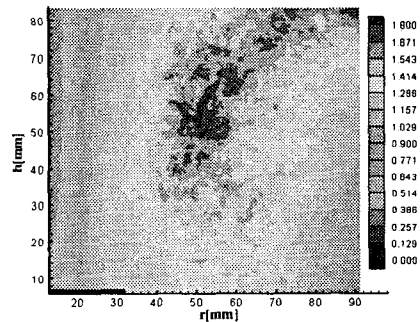
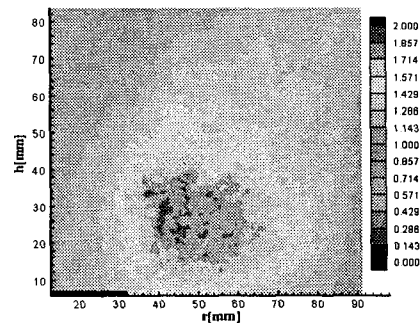


Fig. 7 Area average of variance field

염료가 주입되고 있는 동안 높은 분산값을 가지며, 주입이 끝난 후에는 분산값의 급격한 저하를 보이는데 이는 large scale mixing 이 일어나는 구간이다. 그리고 Baffle 이 있는 경우 baffle 이 없는 경우보다 낮은 분산값을 가지는 것은 baffle 이 만들어 내는 크고 작은 와류로 염료가 주입되는 동안에도 더욱 활발한 혼합이 이루어지기 때문이다.



(a) no baffle



(b) with baffle

Fig. 8 Area averaged concentration fields at t = 25sec

Fig. 8 은 염료의 주입이 끝난 직후의 평균농도장을 나타낸다. Fig. 8(a)는 Inactive 영역이 뚜렷이 나타나며 염료가 벌크유동장 내부로 잘려들어옴을 알 수 있다. Fig. 8(b)는 가로로 설치된 baffle 로 인

하여 Inactive 영역이 와해되었으며 고농도 영역이 축소되었음을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 국가 지정 연구실 (National Rearch Laboratory) 지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- 1) Houcine I, Vivier H, Plasari E, David R, Villermaux J, 1996, "Planar laser induced fluorescence technique for measurements of concentration fields in continuous stirred tank reactors", Exp. Fluids, Vol.11, 153-160
- 2) K.C.Kim, E.H.Jeong, S.K.Kim, R.J.Adrian, 2001, "A Study on the Turbulent Mixing Characteristics in a Rushton Turbine Reactor by PIV and PLIF", 4th International Symposium on Particle Image Velocimetry, Gottingen, Germany, September 17-19, 2001

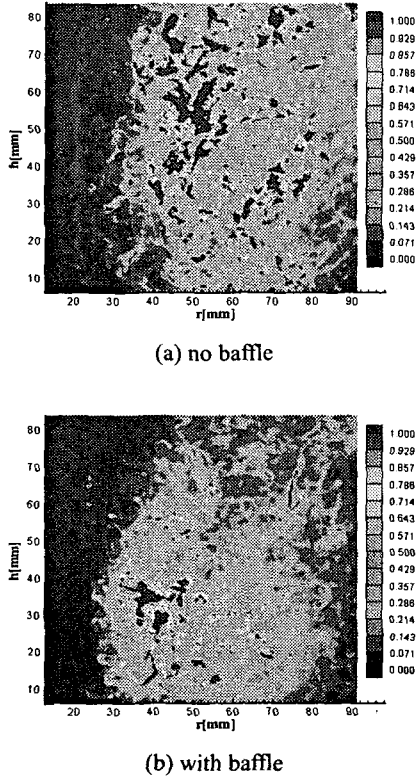


Fig. 9 Area averaged concentration variation fields at t = 25sec

Fig.9 는 염료의 주입이 끝난 직후의 평균분산장을 나타낸다. 분산을 구하는 식은 다음과 같다.

$$\langle C'^2(x) \rangle = \frac{1}{N-1} \sum_{i=0}^N \left(C^*(x, t) - \langle C^*(x) \rangle_i \right)^2$$

4. 결 론

Stereo-PIV 와 PLIF 를 이용하여 교반기 내의 3 차원 순간속도장과 농도장을 측정하는 실험이 성공적으로 수행되었다. 속도장의 측정을 통해 벌크 영역에서 ring vortex 가 생성됨을 확인하였으며 염료가 벌크영역으로 유입되는 mechanism 을 가시화 하였다. 그리고 염료가 균일하게 섞이지 않는 문제를 해결하기 위해 baffle 을 달았을 때 baffle 의 끝단와류가 Inactive 영역을 효과적으로 교란시켜 혼합효율을 높여줌을 확인하였다.