

## PIV/LIF를 이용한 Basket Mill 내부의 유동특성에 관한 실험적 연구

김현동<sup>†</sup>, 윤상열\*, 정은호\*, 류승규\*, 김경천\*\*, 김종일\*\*\*, 유달현\*\*\*, 양시영\*\*\*

### An Experimental Study on the Mixing Characteristics in a Basket Mill Using PIV/LIF Method

Hyun Dong Kim, Sang Youl Yoon, Eun Ho Jeong, Seung Gyu Ryu, Kyung Chun Kim,  
Joongel Kim, Dal Hyun Yoo and Si Young Yang

#### Abstract

An experimental study has performed to identify the mixing characteristics of basket mill by using PIV and LIF techniques. The velocity fields were measured at three sectors for each two types of basket mill model and various impeller speed. To verify the results of velocity field measurement and the concentration field, LIF measurement also was performed for three cases. There was an inactive region and a descending flow to the bottom of basket mill at the original model. But when the impeller type and the guide shape were changed, internal flow structure was improved suitably for mixing and dispersion. The improvement result in increment of inflow flow rate at the basket entrance about 10%.

**Key Words** : Basket Mill(혼합/분산 교반기), Particle Image Velocimetry(입자영상유속계), Laser Induced Fluorescent(레이저형광여기법), Mixing Characteristics(혼합특성)

#### 1. 서 론

Basket Mill은 산업현장의 batch process에서 많이 적용되고 있는 혼합 탱크의 한 형태이다. Batch process는 세라믹파우더, 솔벤트, 분산제 및 첨가물들을 혼합하고 분산시켜 슬러리를 만

드는 초기 공정으로 서로 붙어 있는 세라믹 파우더를 물리적으로 분쇄시키고 혼합시키므로 혼합 / 분쇄 공정이라고도 한다. 이 공정에서는 슬러리의 혼합 및 분산정도가 최종적인 제품품질과 생산성에 중대한 영향을 미치므로 이를 향상시키기 위하여 내부의 유동을 최적화하는 것이 중요하다.

러쉬톤 터빈과 같은 일반적인 회전교반기와 달리 Basket Mill의 경우 많은 구조물들이 위치하고 있어 그 내부의 유동구조가 매우 복잡하고 난류유동 특성을 가지므로 실험적, 수치적 연구결과를 찾아보기 어렵다.

본 연구에서는 현재 생산라인에 설치되어 가동

---

† 부산대학교 대학원 기계공학과  
E-mail : marine797@pusan.ac.kr

\* 부산대학교 대학원 기계공학과  
\*\* 부산대학교 공과대학 기계공학부  
\*\*\* 삼성전기 중앙연구소

중인 기본적인 Basket Mill에 대해 PIV와 LIF기법을 적용하여 Basket Mill 내부의 전체적인 유동 구조와 유동 특성을 규명하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 Basket Mill

Fig. 1은 본 연구에 사용된 Basket Mill의 모식도를 나타내고 있다. 임펠러의 공칭 직경은 180mm로 4개의 블레이드가 수평 방향에서 45도 기울어져 부착된 축류식이다. 유량을 증대시키고 토출방향을 임펠러 하단으로 고정시키기 위해 shroud를 사용하였으며, vessel은 D=490mm, H=550mm의 원통형 용기를 사용하였다.

Basket 입구로의 유입 유량을 높이기 위해 입구 근처에 120도 간격의 3개의 축에 30mm x 120mm크기의 평판형 안내판을 설치하였다. 균일한 분산과 효과적인 분쇄를 위해서는 임펠러와 슈라우드에 의해 Basket Mill의 바닥쪽으로 유도된 유동이 basket위로 상승하는 큰 구조를 이루면서 다시 basket의 가운데에 위치한 유입구로 들어가고 basket 측면으로 나오는 유동도 Basket Mill의 바닥쪽에서 올라오는 유동을 따라 순환을 반복해야 한다.

### 2.2 실험장치 구성

Fig. 2는 본 연구에서 사용된 2차원 PIV System의 개략도이다. 화상획득을 위해 2K×2K의 12bit Power View(TSI) CCD카메라를 사용하였으며 추종 입자로 직경 10μm크기의 할로우

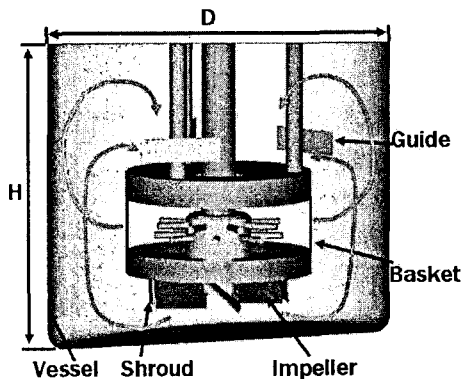


Fig. 1 Schematic of Basket Mill

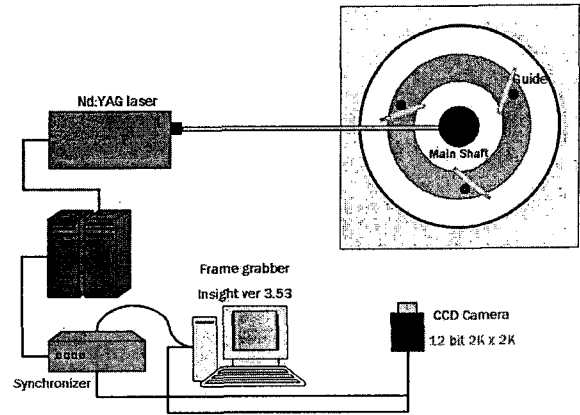


Fig. 2 Experimental setup

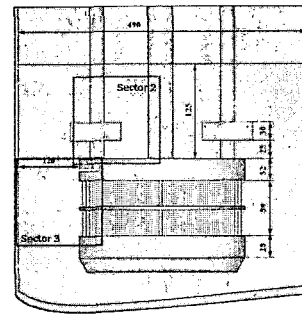


Fig. 3 Test sectors for PIV measurements

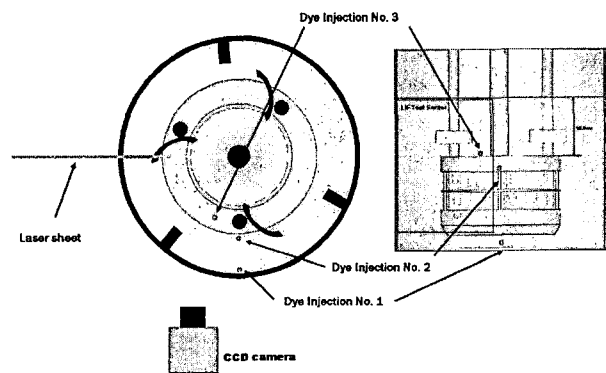


Fig. 4 The position of fluorescent dye injection tube for LIF measurements

글래스를 주입하였다. PIV 측정은 300, 400, 450rpm의 세 가지 경우에 대해 이루어 졌으며, 두 개의 모델에 대해 동일한 위치에서 측정함으로써 개선 효과를 검증하였다. Fig. 3은 PIV측정 영역을 나타내는데 전체 측정영역이 넓으므로 세 개의 영역으로 나누어 측정한 뒤 다시 합성하는

과정을 거쳤다.

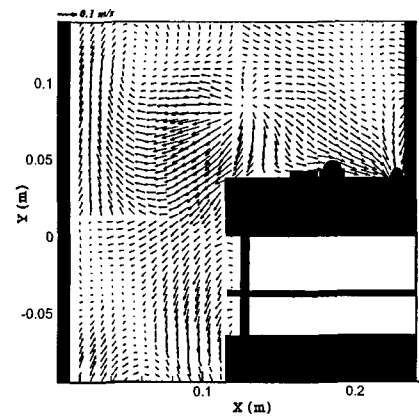
Fig. 4는 LIF 측정 시 형광염료를 주입하는 위치와 LIF 측정 영역을 나타내고 있다. LIF 측정에 사용한 형광 염료는 Rhodamine B이며 증류수에 용해시켜 사용하였다. 염료의 주입은 측정단면으로부터 90도 앞선 지점에서 이루어 졌으며, 10ml/min의 유량으로 12.5초 동안 2ml를 주입하였다. 염료 주입과 동시에 0.8초 간격으로 25장의 영상을 획득하였다. LIF 측정 시 임펠러의 회전속도는 450rpm으로 고정하였다.

### 3. 실험결과 및 해석

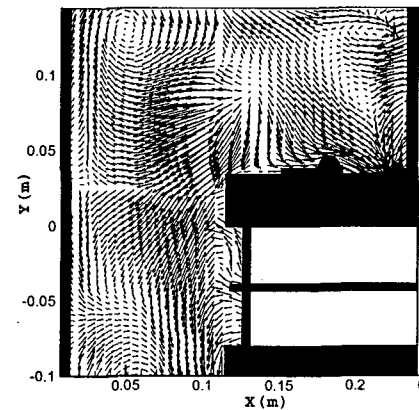
#### 3.1 속도장 측정 결과

Fig. 5는 300rpm과 450rpm에서 초기 모델의 속도장 측정결과를 나타내고 있다. 임펠러와 슈라우드에 의해 아래쪽으로 유도된 유동이 Basket Mill의 바닥에 부딪힌 후 basket 상부로 올라갈 것으로 생각했던 것과는 달리 반경방향의 빠른 속도에 기인한 압력과 basket 상부에서 내려오는 유동에 의해 basket 아래쪽에서 큰 구조를 이루며 정체되는 것을 볼 수 있다. Basket 좌측 상단에서 유동이 좌우로 갈라지는 현상이 나타나는데 이는 안내판이 위치하는 영역으로 안내판에 의해 유동의 일부는 basket의 유입구로 유도되지만 일부는 basket의 바깥쪽으로 빠져나가는 형태를 띠고 있어 혼합에 부정적인 영향을 미치는 것으로 보인다. 또한 secondary 영역에서 혼합이 전혀 일어나지 않는 정체영역(inactive region) 존재하는 것을 볼 수 있다. 임펠러의 회전속도를 300rpm에서 450rpm으로 올렸을 경우 전체적인 유속의 변화만 있을 뿐 정성적인 유동 구조는 유사한 형태를 나타내고 있다.

반면 임펠러의 형태를 원심형으로 바꾸고, 정체영역을 제거하기 위해 넓이가 10/D인 baffle을 설치한 후, 안내판을 60mm x 190mm크기에 0.005m의 곡률을 가지는 형태로 변화시킨 두 번째 모델에서는 Fig. 6에서 보는 것과 같이 유동의 구조가 혼합과 분산에 효율적인 형태로 변화된 것을 볼 수 있다. 즉 Basket Mill의 아래쪽에서 나온 유동이 basket 위쪽으로 상승하여 basket중앙부로 유입되는 과정을 반복함으로써 혼합과 분산이 원활하게 일어나는 것을 볼 수 있다.

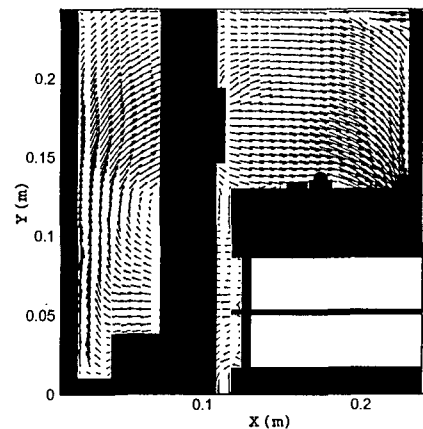


(a) 300rpm



(b) 450rpm

Fig. 5 Velocity vector field for original model



(b) 450rpm

Fig. 6 Velocity vector field for modified model

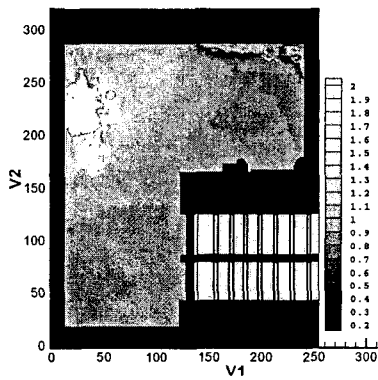
#### 3.2 농도장 측정 결과

Fig. 7은 첫 번째 형광 염료 주입위치에 염료를 주입 했을 때 두 모델에 대한 순간 농도장을 나타낸 것이다. 첫 번째 염료 주입위치는 Basket Mill 벽면 아래쪽에서의 유동이 어떻게 확산되는

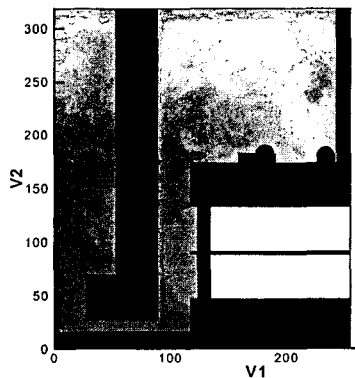
지를 확인하기 위한 것으로 두 경우 모두 위쪽으로 상승하여 분포하는 것을 볼 수 있다. 그러나 (a)의 경우 초기모델의 속도장 측정에서 나타난 것처럼 정체영역에서 염료가 확산되지 못하여 진한 농도를 나타내지만 (b)의 경우에는 넓게 분포하여 basket 유입구 쪽으로 이동하는 것을 명확하게 볼 수 있다. 이는 속도장 측정의 타당성을 검증해 줄 뿐 아니라 두 번째 모델에서의 개선효과를 단적으로 보여준다. 모델개선의 효과를 정량적으로 알아보기 위해 basket 상부의 유입구로 유입되는 유량을 평가한 결과, 450rpm을 기준으로 할 때 초기 모델에서 2.490 l/s이던 유량이 2.797 l/s로 약 10%증가하였다.

#### 4. 결론

산업현장에서 널리 사용되고 있는 Basket Mill의 내부 유동 특성을 PIV와 LIF 기법을 통해 규명하였으며, 모델 개선 효과를 확인하였다. 초기 모델의 경우 정체영역이 존재하였으며, 압력손실이 큰 basket의 하부에 축류형 임펠러를 설치하여 큰 유동모멘텀을 생성시키지 못하였고, 안내판이 유동을 basket의 아래쪽으로 밀어내는 역할을 하여 혼합과 분산에 효율적이지 못한 유동구조를 형성하였다. 그러나 baffle 설치, 안내판 형상변화, 임펠러 변경 등을 통해 유동구조를 개선하여 Basket Mill의 효율을 높일 수 있었다.



(a) original model t=13.6



(b) modified model t=11.2

Fig. 7 Concentration field for the case #1

#### 참고 문헌

- 1) Yianneskis, M. and Whitelaw, J.H., 1987, "An Experimental Study of the Steady and Unsteady Flow Characteristics of Stirred Reactors," J. Fluid mech., Vol. 175, pp. 537~555
- 2) Kim, S. K. and Kim, K. C., 2000, "PIV Measurements of Bulk Flow in a Stirred Mixer," Proceeding of KSME Spring Annual Meeting, B. pp. 77~88
- 3) Houcine, I., Vivier, H., Plasari, E. and David, R., 1996, "Villermaux J Planar Laser Induced Fluorescence Technique for Measurements of Concentration Fields in Continuous Stirred Reactors," Exp Fluids 22, pp. 96~102
- 4) E. H. Jeong and K. C. Kim, 2002, "A Study on the Mixing Characteristics in a Rushton Turbine Reactor by a Laser Induced Fluorescence Method" 대한기계학회논문집 B권, 제26권 제8호, pp. 1145~1152