

# 1. Introduction

1. 교반기는 화학, 광산, 전지 산업 분야에서 복잡한 조성의 액체 및 입자물을 기계적으로 혼합하는 공정에 널리 사용되는데, 이 과정에서 발생하는 복잡한 현상을 이해하기 위해서는 교반 장치가 들어있는 탱크 내부의 유동장을 관찰하는 것이 필요하다.
2. 교반기 내부의 회전 유동장은 원심력에 의해 발생하는 유체의 핵주 상층으로 인한 불안정한 자유 표면의 형상으로 수치 해석하는데 큰 어려움이 따른다.
3. C. M. Chew et al(11): Baffle이 설치된 교반기 내에서의 유동장 해석 (2004)
4. J. Aubin et al(12): Modeling approach 영향을 고려한 교반기 CFD 해석 (2004)
5. A. Brucato et al(13): Multiple reference frame & sliding mesh를 사용한 회전 유동장 해석 (1998)
6. A. K. Sahu et al(4): 교반기 유동에 관한 여러 Numerical scheme & turbulence model을 사용한 parameter들의 영향 분석 (1995)
7. J. Aubin et al(7): Axial Fan을 가진 교반기 내에서의 PIV 측정 (2004)
8. 본 연구에서는 자유 표면을 갖는 교반기 내부에서의 유동장 해석 방법으로 실험 및 3차원 수치해석의 이점을 혼합한 새로운 방법을 제시.

# A Numerical and Experimental Study of the Mixing Flow in an Agitated Tank

## [ 2004 KOREAN FLUID MACHINERY ASSOCIATION CONFERENCE ]

삼성전기 중앙연구소 CAE G.  
 유 달 현

## 2. Flow Analysis

### 2-1. Geometric Shape

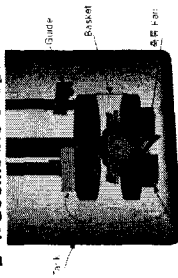


Fig. 1 Agitated tank configurations

Designation	Size
Tank radius	250mm
Tank height	600mm
Fan type	Axial flow fan (blade number: 4)
Basket radius	120-140mm
Basket height	130-150mm
Rotating axis radius	25mm
rpm	500-700

### 2-2. Experimental Analysis

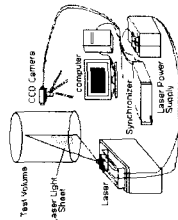


Fig. 2 PIV System

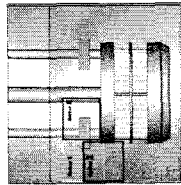


Fig. 3 Measurement position

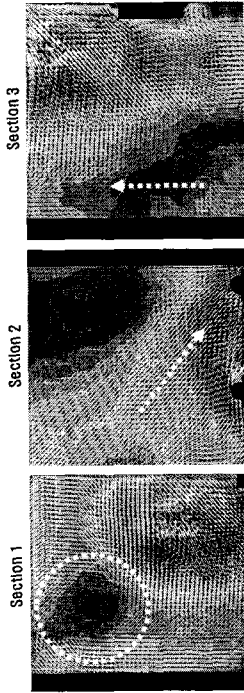


Fig. 4 Velocity vectors at each section

- Section 1: 원심력에 의한 자유표면의 핵주 상층으로 Wall 근방에 Vortex 형성
- Section 2: 자유표면 상의 구배로 인해 유동이 45° 방향으로 Basket 안쪽으로 유입
- Section 3: 원 둘 구에서 나온 유동이 Wall 근방에서 상층

### 2-3. Numerical Analysis

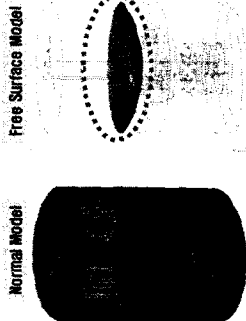


Fig. 5 Computational mesh

#### Governing Equation & Boundary condition

$$\nabla \cdot V = 0$$

$$V(\nabla \cdot V) = \nabla P + \nabla \cdot (\mu \nabla V)$$

- ▶ 3-D Incompressible Steady flow
- ▶ SIMPLE Algorithm
- ▶ Standard K-ε turbulence model
- ▶ 2nd order UPWIND scheme at Momentum & turbulence equation
- ▶ Free surface region : wall slip condition
- ▶ Rotating Wall & Moving Reference Frame condition

- 4개 Region, Total 2,000,000개 Unstructured Grid Generation

### 2-4. Numerical Analysis

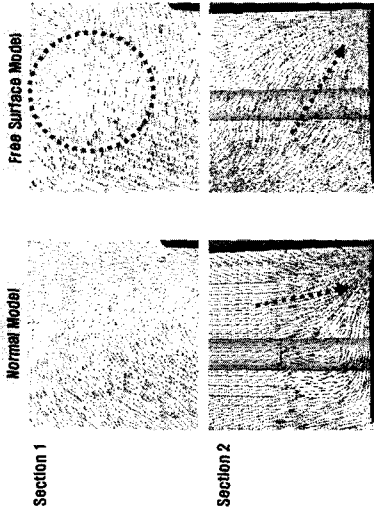


Fig. 6 Velocity vectors comparison

### 3. Shape Improvement

개선 변수	Level 1	Level 2
Fan Type	원형 팬	원심 팬-Strroud
Baffle	무	유
Guide 형 상	직선형	유선형

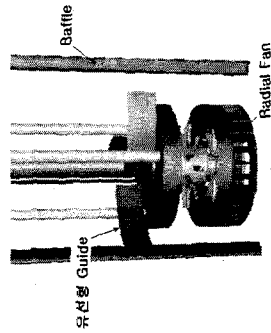


Fig. 7 Agitated tank with baffles, streamline shaped guide and radial fan

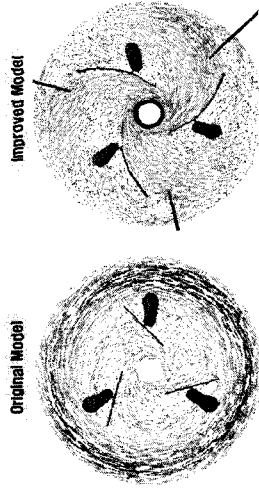


Fig. 8 Velocity vectors comparison at free surface

- 자유표면의 회전 성분인 Flow Dead Zone (질마속도 중 원주속도가 95% 이상 차지하는 회전영역)의 표면적 대비 35% → 2%로 감소
- Basket 유입량은 기존에 비해 3% 증가

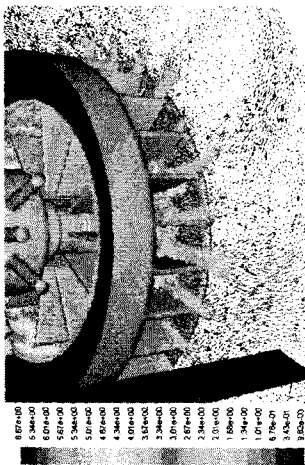


Fig. 9 Velocity vectors near a shroud

- 원심 펌/Shroud의 영향으로 축 방향으로 유입된 유동이 반경 방향으로 유출됨  
 ⇒ 회전장속을 감소시키는 동시에 상/하 유동을 촉진함

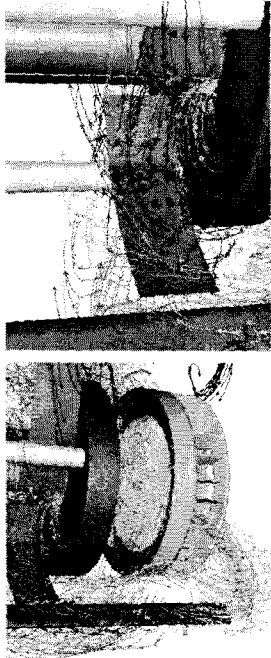


Fig. 10 Velocity vectors near a baffle

- 밑부 유동이 양쪽인 펌의 아래 suction으로 유입
- 반경 방향은 유출된 유동이 Baffle의 영향으로 상측
- Baffle과 유선형 Guide의 상호작용에 의해 Basket으로 유입
- Baffle의 영향으로 인한 상측 유동 및 회전유동이 유선형 Guide의 작용으로 Basket 입구로 유입됨

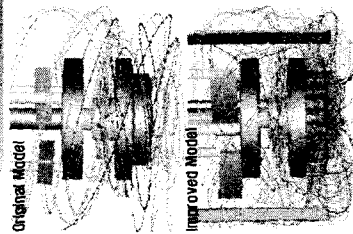


Fig. 12 Stream line comparison in full domain

- 전 유동장에 걸쳐 회전 유동이 직선적인 상/하 유동의 형태로 바뀜  
 ⇒ 자유표면의 안정화



Fig. 13 Flow pattern at free surface

## 4. Flow Field Verification

Improved Model의 유동장 비교 [ Basket 뒷면 & wall 근방 ]

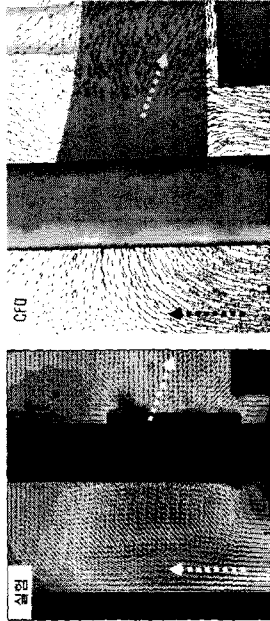


Fig. 14 Velocity vectors comparison near the guide

- 원심 펌 및 Baffle의 작용으로 wall 근방에서 상측유동이 발생
- 유선형 Guide의 영향으로 유동이 Basket 입구로 원활히 유입됨

### Improved Model의 유동장 비교 [ Basket 입구 근방 ]

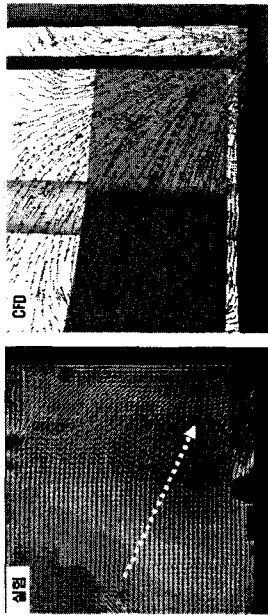


Fig. 15 Velocity vectors comparison at the basket inlet

- 유선형 Guide의 영향으로 유동이 Basket 입구로 원활히 유입됨

## 5. Conclusion

1. 자유 표면을 가진 교반기 내부의 수치 해석에 있어서 PIV를 사용한 실험으로 표면의 형상을 파악한 후, 이를 Modelling하여 sld 벽 조건으로 3-D steady 해석한 결과 실제 실험에서 얻은 유동장과 유사한 결과를 나타내었다.
2. 교반기 내부의 회전 유동장에서 원심력에 의해 발생하는 유체의 액주 상층으로 인한 불안정한 자유 표면을 안정화하고, 원주 방향 속도가 지배적인 Flow dead zone의 발생을 억제하기 위해 Baffle, 유선형 Guide 및 Radial Fan을 사용하여 수치해석 한 결과, 주된 흐름이 상부 유동으로 바뀌면서 Flow dead zone이 크게 감소하였고, 향상된 유량 값을 얻을 수 있었다.
3. 교반기와 같이 자유 표면을 갖는 복잡한 난류 유동장을 해석하는데 있어 3차원 수치해석과 실험의 장점을 적절히 혼합하여 실제 현상과 근접한 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

### Improved Model의 유동장 비교 [ Basket 측면 근방 ]

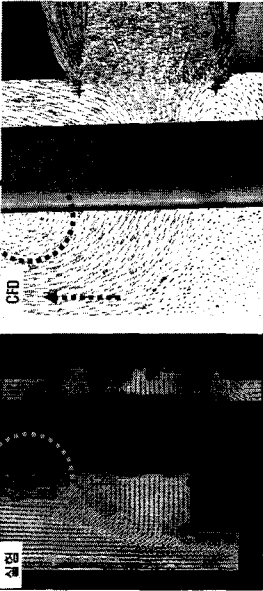


Fig. 16 Velocity vectors comparison at the basket side

- wall 근방의 상층 유동과 Basket 입구로 불어가지 못한 하강유동이 교차되면서 외부 형상 - Basket 옆면으로 일부 유동이 유출됨

## 6. Reference

1. C. M. Chew, R. I. Ristic, G. K. Reynolds and R. C. Ooi, Characterisation of Impeller Driven and Oscillatory Mixing by Spatial and Temporal Shear Rate Distribution, Chemical Engineering Science 59, 1557-1568 (2004).
2. J. Aubin, D. F. Fletcher and C. Xuereb, Modeling Turbulent Flow in Stirred Tanks with CFD: the Influence of the Modeling Approach, Turbulence Model and Numerical Scheme, Experimental Thermal and Fluid Science 28, 431-445 (2004).
3. A. Brucato, M. Ciofalo, F. Grisafi and G. Micale, Numerical Prediction of Flow Fields in Baffles Stirred Vessels: A Comparison of Alternative Modeling Approaches, Chemical Engineering Science 53, 3653-3684 (1998).
4. A. K. Sahu and J. B. Joshi, Simulation of Flow in Stirred Vessels with Axial Flow Impellers: Effects of Various Numerical Schemes and Turbulence Model Parameters, Ind. Engineering Chemical Res. 34, 626-639 (1995).
5. Z. Jaworski, K. N. Dyster, I. P. T. Moore, A. W. Nienow and M. L. Wyszynski, The Use of Angle Resolved LDA Data to Compare Two Difference Turbulence Models Applied to Sliding Mesh CFD Flow Simulation in a Stirred Tank, Recent Progres en Genic des Procèdes 11, 187-194 (1997).
6. P. M. Armentante and C. C. Chou, Velocity Profiles in a Baffled Vessel with Single or Double Pitched Blade Turbines, Journal of AIChE 42, 42-54 (1996).
7. J. Aubin, N. La Saue, J. Bertrand, D. F. Fletcher and C. Xuereb, PIV Measurements of Flow in an Aerated Tank Stirred by a Down-and an Up-Pumping Axial Flow Impeller, Experimental Thermal and Fluid Science 28, 447-458 (2004).