

교반기내의 폴리우레탄 레진의 혼합 특성에 관한 연구

허성규[†]·박인형^{**}·하경호^{***}·서용권^{*}

Study on Flow and Stirring Characteristics of Polyurethane resin in a mixer

Seong Gyu Heo, In Hyeung Park, Kyong Ho Ha and Yong Kweon Suh

Key Words: Mixing index(혼합지수), Polyurethane(폴리우레탄), Mixer(혼합기)

Abstract

This paper presents a numerical study to enhance the mixing of polyurethane resin in a container. In general, the properties of polyurethane resin vary with the production environment, such as temperature. However in this study we assumed that the dynamic viscosity of the polyurethane is kept constant at 15 [Pa · s]. We computed the flow solution and visualized the mixing pattern for different shapes of mixers by using commercial code, ANSYS CFX. In order to quantify mixing, we employed the concept of mixing index by volume integration.

1. 서 론

산업현장에서 흔히 적용되는 교반기는 식품 공업, 생화학공업, 금속공업, 수처리 및 환경관련 공정 등 다양한 산업분야에 사용되고 있으며, 혼합되는 물질의 특성에 따라 다양한 종류의 임펠러와 교반조가 설계된다. 임펠러를 사용한 교반기 내부 유동장은 레이놀즈 수가 그렇게 높지 않을 경우, 임펠러 끝 와류(tip vortex)의 주기적인 방출, 2차 와류의 순환 등 상당히 복잡한 구조의 3차원적 비정상 유동메커니즘을 가진다. 우수한 성능의 교반기를 설계하기 위해선 반드시 교반 성능에 영향을 미치는 다양한 내부 유동특성의 정

량적 데이터의 확보가 필요하나, 3차원적 비정상 특성을 나타내는 복잡한 구조의 내부유동특성에 관한 정량적 해석은 현재까지도 상당히 어려운 문제이다.

관련 연구를 살펴보면, Chapple과 Kresta⁽¹⁾는 가시화기법(tuft법)으로 3개의 블레이드를 가진 임펠러에 의한 교반장치에서 유동패턴의 안정성과 임펠러의 위치, 직경과 같은 기하학적 변수의 영향에 대해 연구하였다.

이와 같이 지금까지의 연구는 실험적 연구에 치중되어 있었고 이는 시간과 비용의 소모가 크다는 단점을 지닌다. 또한 실험을 통한 연구는 교반기 내부의 국소적인 유동을 현상 파악하는데 있어 한계를 가지고 있다. 따라서 최근에는 수치해석을 통한 연구가 활발히 진행되고 있으며 컴퓨터의 발달로 인해 적은 비용과 시간으로 효율적인 교반기 유동 특성 연구를 할 수 있다.

그러한 관점에서 최근 황과 김⁽²⁾은 드래프트관이 장착된 헬리컬 스크루 형상의 교반기에 대한 수치해석을 통해 유동 및 혼합을 연구하였고 하와 윤⁽³⁾등은 대형 와 모사법을 사용하여 혼합

† 책임저자, 학생회원, 동아대학교 대학원
E-mail : sgheo@donga.ac.kr
TEL : (051)200-6999 FAX : (051)200-7656

* 회원, 동아대학교 기계공학과
** 비회원, 동아대학교 기계공학과
** 비회원, (주)에스엔에프

탱크 내의 유동장 및 농도장을 동시에 해석한 바 있다. 또한 김⁽⁴⁾등은 교반기 내에 다상 물질과 다종 물질이 섞여있을 때 임펠러의 설치위치가 혼합과 열전달에 미치는 영향을 연구하였다.

이에 본 연구에서는 교반기 내에 폴리우레탄 레진의 비정상 상태에서의 유동 및 혼합에 대하여 수치해석을 수행하였다. 먼저 교반기에 대한 유동해석을 통하여 피치 블레이드 타입의 임펠러에 따른 유동 특성을 수치해석 하였으며, 교반조 벽면에 배플 설치에 따른 유동양상과 혼합효과의 변화를 고찰하였다. 본 논문의 수치해석을 위해서 유한체적법에 기반을 둔 CFD 상용코드인 CFX를 사용하였으며 각각의 교반기내 형상 변화에 따른 혼합의 상대적인 변화를 비교하기 위해서 체적에 대한 농도분포에 의한 혼합지수를 도입하였다.

2. 유동모델 및 수치해석 방법

2.1 유동모델

Fig. 1은 본 연구에서 사용한 교반기의 3차원 형상을 나타낸 것이다. 직경이 약 700 [mm]인 원통의 탱크 내에 피치 블레이드 타입의 임펠러가 상하에 배치되어 있고 상하 임펠러의 날개는 90도 간격으로 4개가 서로 엇갈려 있다. 원형 탱크의 바닥은 콘(cone)모양이나 원형 중심으로 대칭된 형태가 아닌 한쪽 부분으로 치우친 형태로 하였다. 이것은 비대칭적으로 인한 혼합효과의 증진을 기대할 수 있기 때문이다. 또한 교반기의 내부에 Fig. 2와 같은 수평 및 수직 배플을 설치하였을 때 나타나는 유동 및 혼합을 비교하였다.

실제 산업현장에 적용되는 교반대상 유체인 폴리우레탄 레진은 비 뉴턴유체이고 조성비에 따라 다양한 물성치를 가질 수 있겠으나, 본 연구에서는 기초연구의 목적상 점성계수 μ 가 매우 큰 Newton 유체로 가정하였다.

2.2 수치해석 방법

본 유동모델에 대한 유동특성과 혼합특성 연구를 위해 상용코드인 CFX를 사용하였다. 교반기 내에 유체와 기체의 경계면의 변형을 고려하기 위해서는 많은 계산시간이 요구되므로 상단의 표면은 평탄하며 free slip조건이 타당한 것으로 가정하였다. 그 외의 벽면에는 no slip조건을 부여하였다.

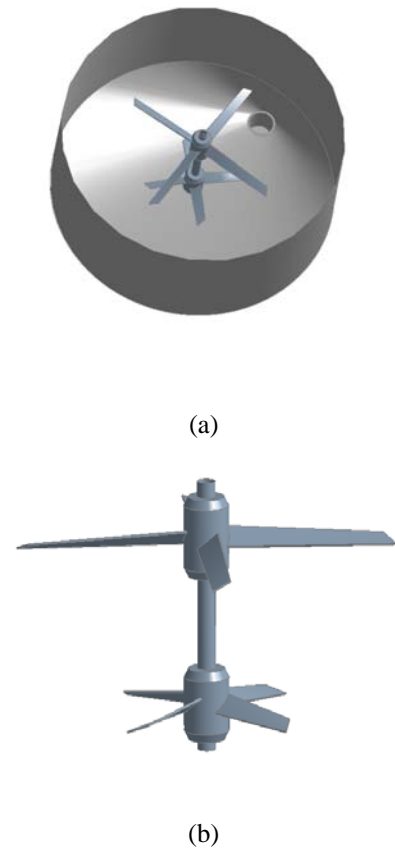


Fig. 1 Perspective view of the mixer model (a) and pitch blade turbine type impeller (b).

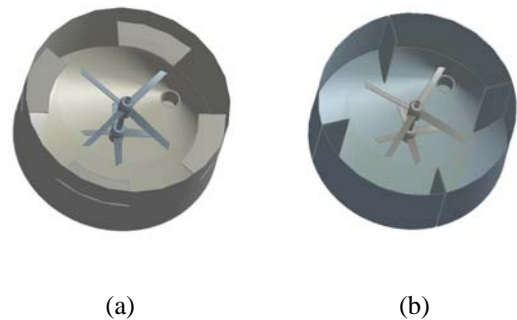


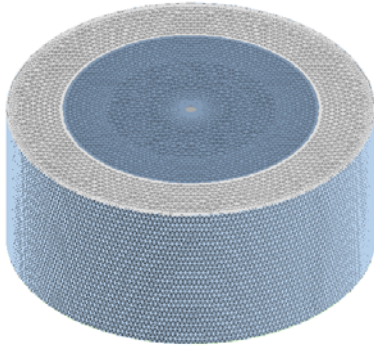
Fig. 2 Mixer with horizontal baffles attached on the side wall (a) and that with vertical baffles (b).

교반기내에는 회전하는 임펠러와 회전하지 않는 원통이 존재한다. 임펠러를 포함하는 영역은 회전좌표계를 사용하였고 그 외 영역은 고정좌표계를 사용하여 계산하였다.

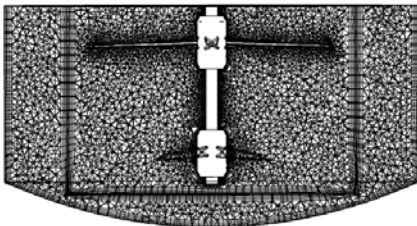
대표길이를 300[mm]로 하고 대표속도를 3.5[m/s]로 하였을 때 레이놀즈수는 약 20이다. 따라서 층류로 가정할 수 있다. 사용된 격자계는

비정렬 사면체 격자이며 경계층에는 프리즘 격자를 사용하였다.

비정상유동해석을 위해서 국소시간간격(local time step)을 사용하여 시간적분 하였으며, 유동이 안정화 되었을 때는 시간간격을 작게 하였다.



(a)



(b)

Fig. 3 Grid system of the mixer.

농도분포에 따른 혼합지수의 계산식은 다음과 같다.

$$C_s = \sqrt{\frac{1}{v} \int (1 - c/\bar{c})^2 dv}$$

c 는 특정시간에 교반기 내의 특정 지점에서 얻어지는 농도를 의미하며, \bar{c} 는 농도장의 공간 평균값을 나타낸다. 그리고 v 는 체적을 나타낸다.

3. 결과 및 고찰

속도장은 전체적으로 회전유동의 양상을 보인다. 순수한 회전유동은 교반효과에 직접적으로 영향을 주지는 못한다. 즉 임펠러에 의한 2차유

동이 교반에 결정적인 영향을 미친다. Fig. 4는 수직단면에서의 속도벡터(2차유동)를 나타낸 것이다. 전체적으로 보면 유동은 상부 임펠러 끝에서 바깥쪽으로, 중심부에서 위쪽으로, 그리고 측면벽 근처에서 아래쪽으로 향하는 모습이다.

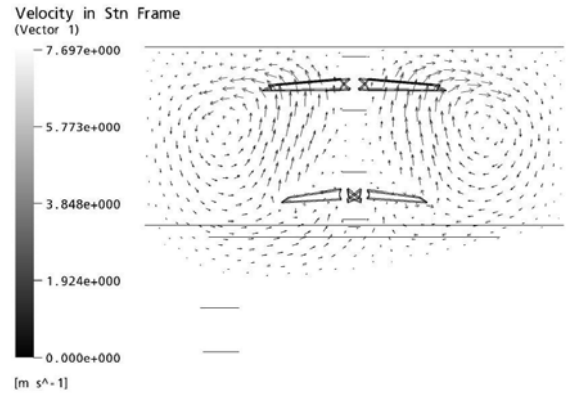
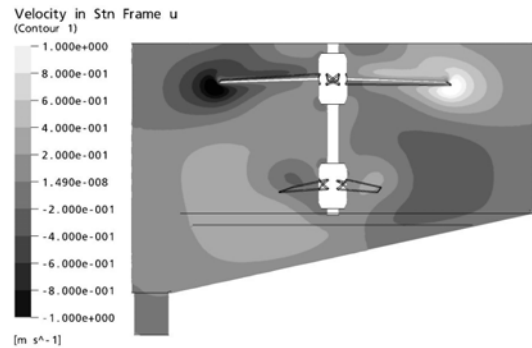
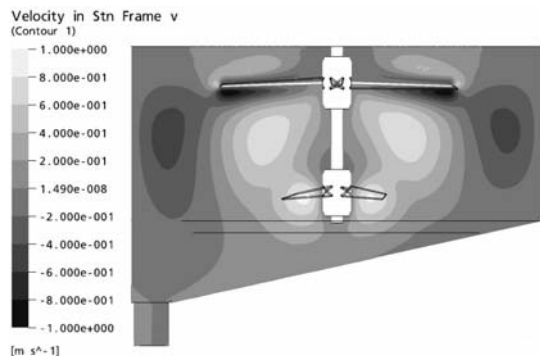


Fig. 4 Vector distribution on a cross-sectional plane.

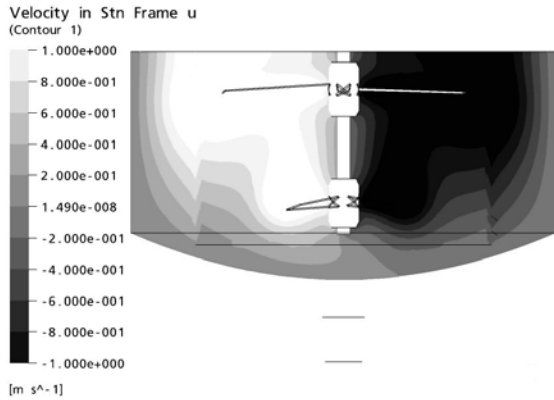


(a)

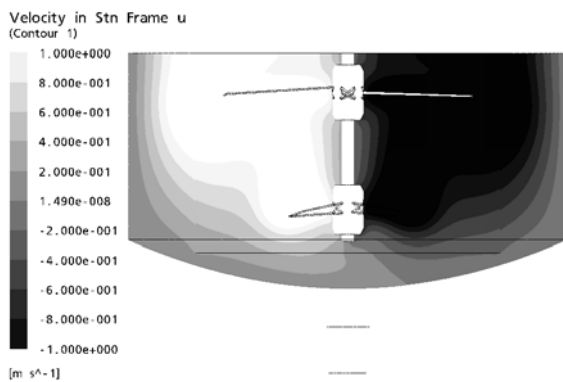


(b)

Fig. 5 Distribution of the radial (a) and vertical (b) velocity components



(a)



(b)

Fig. 6 Comparison of u-velocity near the boundary layer.

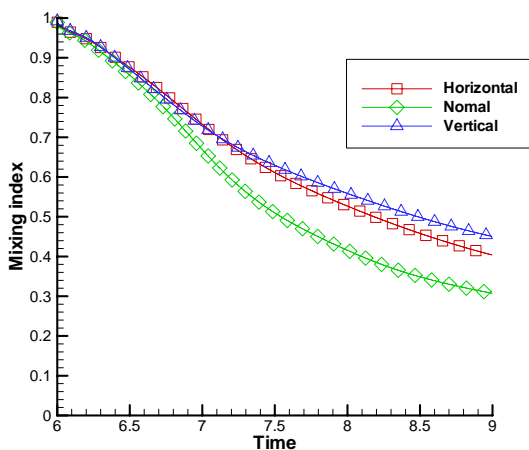


Fig. 7 Comparison of mixing index each condition.

Fig 5는 상부의 임펠러를 통과하는 측단면상에서의 속도분포를 나타낸 것이다. (a)는 반경방향 속도를 나타낸 것이다. 날개 끝에서 속도가 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. (b)는 수직방향 속도를 나타낸 것이다. 중심축 근처에서는 상승운동을, 측면 벽 근처에서는 하강운동을 보여주고 있다.

Fig. 6은 회전좌표계와 고정좌표계에서의 경계면에서 속도분포를 비교한 것이다. 경계면에서의 격자를 조밀하게 하지 않을 경우에는 (a)에서와 같이 속도가 급격히 변화하는 것을 볼 수가 있다. 하지만 경계면 근처에서 격자를 조밀하게 한 (b)에서는 속도의 분포가 매끄럽게 진행되는 것을 볼 수 있다.

Fig. 7은 수평, 수직 배플을 설치하였을 때와 설치하지 않았을 때의 혼합지수를 나타낸 것이다. 이는 본 교반기의 모델에서는 배플의 설치가 오히려 유체의 혼합을 방해하는 결과를 나타내고 있다.

4. 결론

본 연구에서의 수치해석을 통해 결론을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 수치해석을 통해 교반기 내의 유동 양상을 가시화 하였다.
- (2) 회전좌표계와 고정좌표계를 이용한 수치해석의 수행에 있어서 경계면에서는 보다 조밀한 격자계를 구성해야 한다.
- (3) 혼합지수에 의한 결과를 통해 본 교반기의 모델에서는 배플의 설치가 유체의 혼합을 방해한다.

참고문헌

- (1) D. Chapple, S. Kresta, 1993, "The Effect of Geometry on the Stability of Flow Patterns in Stirred Tank", *Mixing XIV*, Santa Barbara, CA.
- (2) J. Hwang, Y. Kim, 2007, "Flow and Mixing Characteristics in an Agitator with a Draught

Tube", Journal of Fluid Machinery, Vol. 10, No. 1, pp.56-63.

(3) H. Yoon, M. Ha, H. Chun, 2003, "Simultaneous Analysis of Concentration and Flow Fields in a Stirred Tank Using Large Eddy Simulation ", *J. Mech. Sci. Tech(B)*, Vol. 27, No. 9, pp.1282~1289.

(4) I.S. Kim, H.S. Song, S.P. Han, "The effects of impeller configuration on mixing and heat transfer in a stirred tank with a helical cooling coil", *proceeding of KSCFE*.