Proceedings of
The Second National Congress on Fluids Engineering
August 22-24, 2002, Muju, Korea

산업용 교반기의 유동해석용 전/후처리 장치의 개발

김민철* · 김영규** · 허남건***

The Development of a Processor for an Industrial Mixer

Min-Chul Kim*, and Youngkyu Kim**, Nahmkeon Hur*

Key Words : A mesh generation program(격자 생성프로그램), Industrial Mixer(산업용 교반기)

Abstract

In the present study a mesh generation program is developed for the flow analysis of industrial mixers. With this program one can select various design parameters such as impeller types, vessel type, number of baffles, number of blades, blade pitched angle, stages of impeller, rotational speed etc. Post processing capabilities are also imbedded in the program. Along with brief explanation of the program, examples of flow simulation for various type of mixers by using the program are also presented to show effectiveness of the program. It is expected that this program can be used to understand the effect of design parameters on the performance of particular type of the mixer, and hence to achieve the optimal design.

1. 서 론

산업용 교반기는 산업전반에 걸쳐 널리 쓰이는 기계로 단일 혹은 두 개 이상의 물질을 혼합하여 사용자가 원하는 물질을 만들어 내는 장치로써 수십 kg부터 수십 톤까지의 물질을 혼합하는 다양한 크기로 구성이 되어 있다.

교반기의 좋은 성능을 위해서는 교반기 내에 유동의 정체점이 없이 모든 영역에서 원활히 혼합될 수 있도록 설계하는 것이 중요하다. 모델 실험 장치를 제작하여 유동현상에 대한 가시화를 수행하여 설계된 교반기의 성능을 예측하고 있으나, 모델의 제작에 따르는 비용과 시간이 큰 문제점으로 남아있다. 그러므로 최근의 전산유동해석 기술을 적용한다면, 설계된 교반기 내부의 유동현상을 해석하여 각각의 설계요소의 영향을 파악하고 최적 설계를 도출할 수 있을 것이다.

2. 프로그램 설명

2.1 프로그램의 화면구성 및 개발환경

전산유체해석기법의 작업 중 격자를 생성하는 과정은 많은 시간이 소비된다. 이런 문제점을 해결하고 작업을 용이하게 하기 위해 본 연구에서는 교반기 격자를 자동으로 생성하는 프로그램을 개발하였다. 개발환경은 OS는 Window2000 Professional이며 CPU는 Pentium에서 가능하며 사용언어는 Visual C++ 6.0을 사용하였다.

프로그램을 실행시키면 그림1과 같은 교반기 전처리 프로그램의 전체화면이 나타난다. 전체화면에서 왼쪽 상단의 그림을 보면서 임펠러 종류를 선택하게 되어있다. 임펠러 종류는 Flat paddle, Pitched paddle, Flat turbine, Pitched turbine이 있다. 임펠러를 선택한 다음 아랫부분의 그림을 보면서 변수들의 값을 입력해야 한다. 입력을 받아야 하는 부분은 우선 임펠러 블레이드의 크기, 폭, 기울임 각도, 축의 지름 등을 입력해야 하는데 각 변수마다 mm 단위의 크기와 셀의 개수를 입력해야 한다.

그 아래쪽은 블레이드 정보를 나타내는 부분으로 블레이드와 블레이드 사이의 셀의 개수와 그리고 임펠러 날개의 개수 그리고 임펠러의 단수를 설정하는 부분이다. 임펠러의 단수는 3단까지 조정이 가능하다.

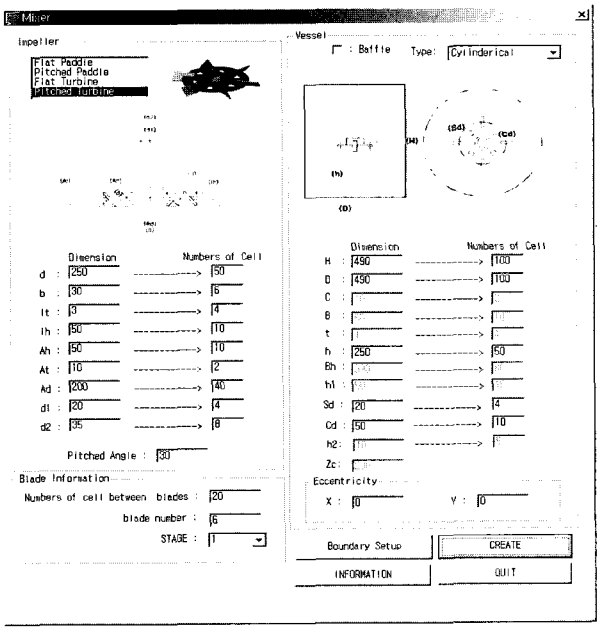


Fig 1.Main window of automatic mesh generator for a mixer

* 서강대학교 대학원, celticism@daum.net
** 서강대학교 대학원, silvercdx@daum.net
*** 서강대학교 기계공학과, nhur@sogang.ac.kr

오른쪽 상단 부분은 용기의 형태를 선택하는 부분이다. 용기의 형태는 3가지로 구성되어 있는데 일반적인 원형 용기와 사각형 용기 그리고 밑바닥이 구형인 용기로 되어 있다. 그 아랫부분은 용기에 대한 치수와 셀의 개수를 입력하게 되어 있는데 이 때 입력해야 하는 변수들은 용기의 지름과 높이, 베플이 있는 경우에는 베플의 크기, 용기와의 떨어진 거리, 그리고 편심 정도등을 입력해야 하고 역시 임펠러와 마찬가지로 mm단위의 크기와 셀의 개수를 입력해야 한다. 데이터를 입력 시에는 항상 셀의 전체 개수나 치수의 조합들을 잘 고려해야 한다. 전체 셀 개수와 부분들의 셀의 총합이 같지 않거나 전체 치수과 부분 치수들 간의 합이 같지 않을 때에는 메세지를 통하여 사용자가 셀의 개수나 치수를 정확하게 입력하도록 프로그램 되어있다.

일단 사용자가 원하는 교반기의 임펠러나 배플을 선택하게 되면 변수들의 입력하는 부분들이 자동으로 소멸되기 때문에 사용자는 프로그램에 나타난 입력부분들만 입력해 주면 된다. 이렇게 하면 Mixer 자동격자 생성프로그램의 입력은 끝나게 된다.

마지막으로 파일생성과 저장을 하는 부분이다. 오른쪽 하단 부분을 보게 되면 Create 그리고 Boundary Setup, Information, quit의 4가지 버튼이 있다. Create부분은 파일 생성 및 저장을 하는 부분이고, Boundary Setup은 Iteration, RPM, Relaxation Factor, 난류 또는 층류를 입력, 조절하는 창으로 계산에 필요한 상황에 맞게 설정하는 창이다. 계산 조절 화면의 설정이 끝나면 생성된 입력파일을 FTP로 넘겨주면 사용자가 선정한 교반기의 메쉬가 생성 되게된다. 약간 다른 형태의 입력파일을 생성하면 현재 본 실험실에서 개발중인 전·후처리 장치에 입력도 가능하다.

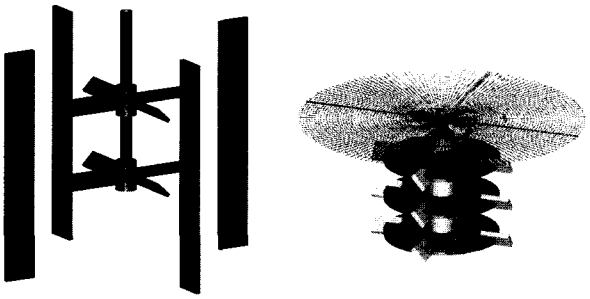
2.2 전처리의 구성

블레이드의 선택 및 Baffle 유무 결정

블레이드는 4가지를 선택하게 되어있으며 베플의 유무를 체크하게 프로그램 되어있다. 베플의 개수는 블레이드 수에 맞추어져 있으며 용기의 두께 및 셀의 개수를 조정할 수 있다. 터빈의 경우 안쪽구멍의 유무도 가능하며 구멍의 거리 조절도 가능하다.

블레이드 개수 조절 과 단수 조절

블레이드의 개수 조절이 가능하며, 단수 조절은 1단에서 3단까지 가능하다. 단수 조절은 같은 형태의 블레이드만 가능하며 블레이드 간의 간격을 조절함으로 써 위치에 따른 유동을 파악할 수 있다. 그림 2의 (a)는 2단인 Pitched paddle이며, (b)는 3단인 Pitched turbine이다. 그림3은 날개 3개인 경우의 Pitched paddle과 5개인 Pitched paddle이며, 그림4의 (a)는 날개 3개인 경우의 Pitched turbine과 5개인 Pitched turbine이다.



(a) 2-stage Pitched paddle (b) 3-stage Pitched turbine

Fig. 2 Mesh for mixers with staged impellers

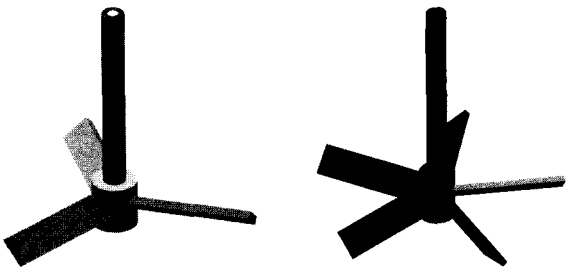


Fig. 3 Pitched paddle with 3 and 5 blades

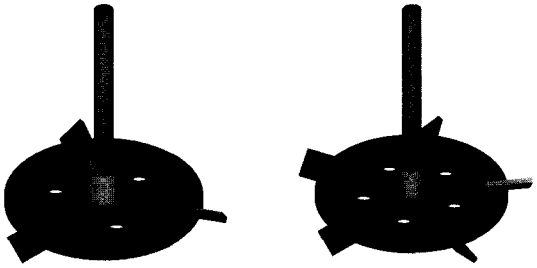


Fig. 4 Pitched turbine with 3 and 5 blades

블레이드 기울기 각도 조절

Pitched paddle이나 Pitched turbine에서의 기울어진 각도를 조절할 수 있다. Flat형인 0°를 기준으로 주어진 각도에 따라 반시계 방향으로 기울어지게 된다. 그림 5는 30°와 -30°일때의 Pitched paddle의 모습이다.

용기 형태 결정 및 블레이드 상하 거리 및 편심 조절

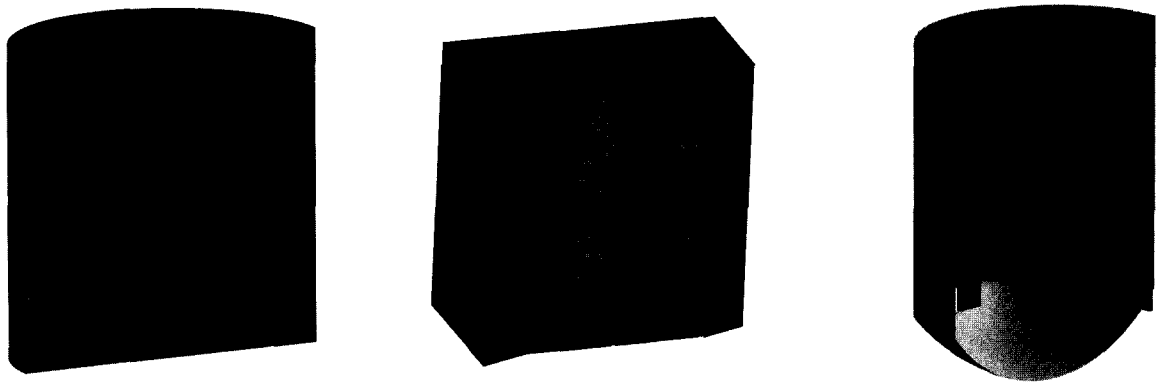
용기의 형태는 3가지 형태로 선택할 수 있게 되어 있다. 원형 형태, 사각형 형태, 밑바닥 모양이 구형 형태가 있는데 사용자가 원하는 형상대로 선택할 수 있으며 블레이드의 위치를 상하 방향으로 조절이 가능하며 블레이드 좌우 및 상하로 편심 조절이 가능하다. 그림6의 (a)와 (b)는 좌우 편심이 된 원형 용기와 사각형 용기이며, (c)는 구형형태 용기의 45°Pitched paddle이다. 본 프로그램에서는 용기의 형태와 블래이드 상하거리 및 편심조절이 동시에 가능하다. 예를 들어 편심이 된 사각형 용기형태라든지, 임펠러가 2단인 밑바닥이 구형형태도 구현이 가능하다.

계산 조절 화면

계산 조절 화면의 구성은 물성치 즉, 밀도, 비열, 열 전도 계수, 점성을 입력하게 되어 있는 부분과 난류 모델과 층류를 선택하여 입력하는 부분, 스핀과 완화 계수, 수렴 조건 등을 입력

(a) Pitched 30° (b) Pitched -30°

Fig. 5 Pitched paddle



(a) A cylinderical vessel with eccentricity (b) A rectangular vessel (c) A spherical vessel at the bottom

Fig 6. Available vessle type

하는 부분 등으로 실제 교반기의 계산 시 설정하는 부분을 그대로 조절할 수 있다. 그림 7의 화면은 메인 프로그램 화면에서 Boundary Setup버튼을 클릭하면 나타나게 된다. 이 계산 조절화면을 정확하게 입력해야 사용자가 필요한 계산을 정확하게 도출하게 됨으로 이 화면의 관리는 매우 중요하다.

2.3 후처리의 구성

Create 버튼을 클릭하게 되며 입력 파일 뿐만 아니라 패널들이 생성된다. 이 패널을 클릭하게 되면 전처리와 후처리로 구성된 패널이 생성된다. 후처리에 구성된 부분들은 각각 5단계 섹션으로 된 X단면 압력분포, X단면 속도 분포, Z단면 속도분포, 온도 분포, X단면 난류 분포, Z단면 난류 분포와 속도 그래프, UVW_COMPONENT 그래프, STATIC 압력 그래프, TOTAL 압력 그래프로 구분되어있다. 그래프는 중앙에서 벽면까지를 그래프로 나타나게 되며 X단면은 블레이드 중간부분, 블레이드 위 끝부분, 블레이드 아래 끝부분, 블레이드 중앙에서 교반기 윗부분의 중간부분과 블레이드 중앙에서 교반기 아랫부분의 중앙부분의 5가지를 볼 수 있다. Z단면은 블레이드와 블레이드 사이를 5부분으로 나누었다. 이 부분들은 후처리 패널을 입력 파일과 같이 FTP로 넘겨주면 자동 생성된다.

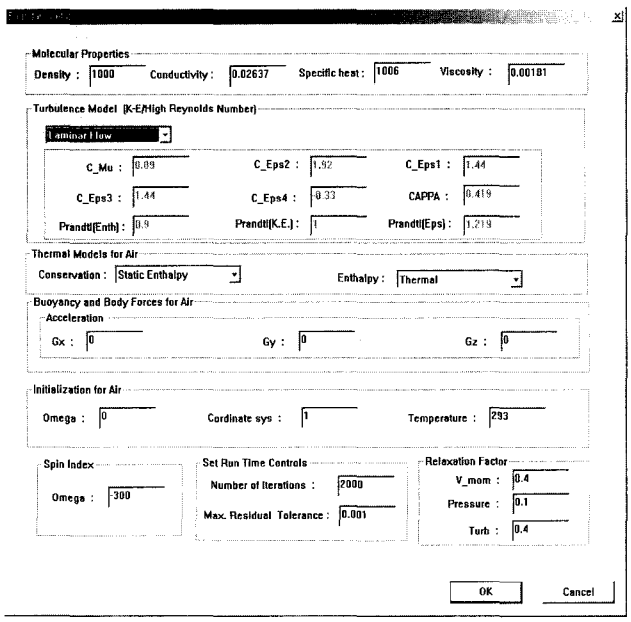


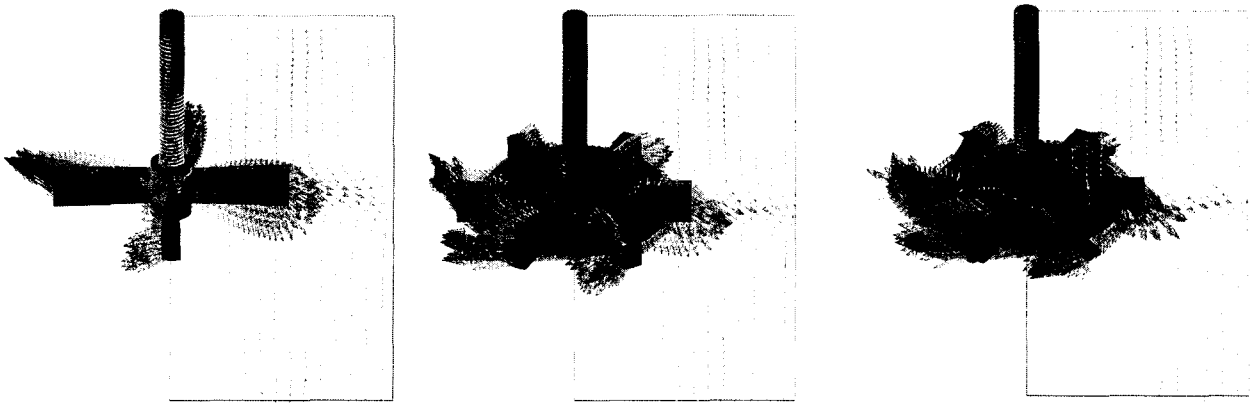
Fig. 7 Window for computation setup

3. 적용 예

본 연구에서 개발한 교반기 자동 격자 생성 프로그램을 사용하여 여러 가지 계산을 수행하였다. 계산은 상용 프로그램인 STAR-CD를 사용하였으며, 작동유체는 물을 사용하였고, MRF방법을 사용하여 수치해석을 수행하였다. 본 연구실에서 개발한 자동격자 생성 프로그램은 MRF방법에 의해 수치해석 되도록 프로그램 되어있다. 그림 7의 계산 조절화면의 초기 설정 값을 적용하여 편심에 따른 토크변화, RPM에 따른 토크변화, 그리고 기울어진 각도에 따른 토크변화의 계산을 수행하였다.

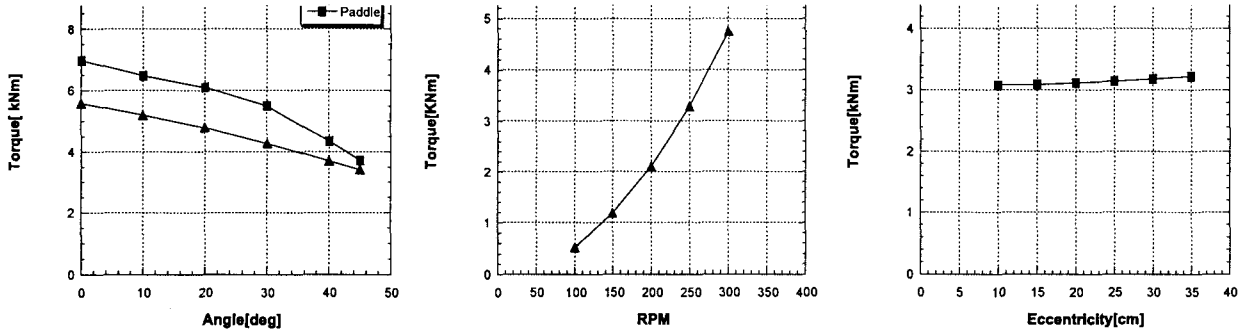
그림 8은 여러 가지 형태의 임펠러의 교반기에 대한 유동의 모습을 보여주는 그림이다. 그림 8(a)는 Flat paddle인 경우의 속도 백터를 보여주는 그림인데, 임펠러 근처의 유동장을 보면 임펠러로부터 팁 와류가 형성되고 반경 방향으로 제트가 분출되는 것을 알 수 있다. 그리고 임펠러의 상·하 면으로부터 유체의 강한 유입이 발생되면서 팁 와류가 밀려나게 된다. 그로 인해 임펠러의 상하부분에 서로 대칭적인 유동형태가 나타나게 된다. 그림 8(b)와 8(c)는 각각 Flat turbine과 45°Pitched turbine의 유동형태를 보여주고 있다. 그림으로부터 Pitched turbine은 Flat turbine에 비하여 블레이드의 기울어진 각도에 의해 아래 방향으로 더욱 하강한 와류의 형태를 확인할 수 있다. 즉, Flat turbine에서는 블레이드 주위에 한쌍의 대칭적인 와류가 존재하고, Pitched turbine에서는 대칭성이 깨어지며 아래로 하강하는 유동이 발달함을 알 수 있다.

그림 9는 임펠러의 설계변수들이 토크 변화에 미치는 영향을 보여주고 있다. 그림 9(a)는 블레이드의 pitch 각도가 토크에 미치는 영향을 보여주고 있다. 그림에서 패들형이 터빈형보다 토크가 높은 것을 볼 수 있는데, 이는 임펠러의 면적이 훨씬 넓기 때문이다. 두가지 모두 각도가 커질수록, 즉, 날개가 수평에 가까울수록 전면적이 작아지기 때문에 토크는 낮아지고 교반도 잘 되지 않는 것을 알 수 있다. 그림 9(b)는 Flat turbine의 같은 제원에 RPM 변화에 따른 토크 값을 나타내고 있다. 회전수는 100rpm에서부터 50씩 증가시키며 반시계 방향으로 회전을 시켰으며, 이때 토크는 거의 회전수의 제곱에 비례하는 것을 볼 수 있다. 그림 9(c)는 45°Pitched paddle인 경우의 같은 제원과 300rpm의 같은 속도를 주어 축을 중심으로 x방향으로 5㎝씩 편심을 증가시켜 격자를 생성하여 해석을 수행하였다. 편심이 클수록 토크는 커짐을 볼수 있는데 이것은 벽쪽으로 가까워짐에 따라 벽의 영향으로 전단 응력이 크게 되어 토크가 커지기 때문이다.



(a) Flat paddle impeller (b) Flat turbine impeller (c) 45°Pitched turbine impeller

Fig 8. Velocity profile in mixers with various impellers types



(a) Effect of of pitched angle on 4-bade paddle and 6-blade turbine with 1-stage, nobaffle, no eccentricity and cylinderical vessel

(b) Effect of rotational speed variation on Flat turbine with 1-stage, 6-blades, no baffle, no eccentricity and cylinderical vessel

(c) Effect of eccentricity on 45°Pitched paddle with 1-stage, 4-blades, no baffle, 300rpm, no eccentricity and cylinderical vessel

Fig 9. Effect of design parameters on torque of the imperller

4. 결 론

본 연구에서는 교반기에 전산유체해석기법을 용이하게 적용하기 위한 교반기 격자를 자동으로 생성하는 자동 격자 생성 프로그램을 개발하였다. 본 연구실에서 개발한 산업용 교반기의 자동격자 생성프로그램은 다양한 임펠러 모양의 선택과 위치를 조정할 수 있으며 임펠러 단수 설정, 용기 형태 선택 및 치수와 셀의 개수 그리고 배플 개수와 임펠러 날개 개수를 사용자가 원하는 형태로 조절이 가능할 뿐 아니라, 편심이 된 사각형 용기의 Pitched paddle이나 베플이 있는 3단의 구형 용기의 Pitched turbine과 같이 복잡한 형상도 해석이 가능하다. 그리고 후처리에서도 여러 가지 패널들을 통한 각 단면별 유동현상을 쉽게 파악할 수 있게 구성하였다.

본 연구에서 개발한 몇가지 형태의 교반기에 대한 해석을 수행하였다. 임펠러의 각도, 회전수, 편심도의 변화에 대한 해석을 수행하여, 본 프로그램의 유용성을 확인하였다. 향 후 본 프로그램을 사용하여 교반기의 유동현상을 해석하면 각각의 설계요소의 영향을 파악할 수 있을 것이며, 교반기의 설계 요구조건에 맞는 최적 설계를 도출 할 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 (주)하도의 연구비 지원으로 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

[1] "STAR-CD V.3.1 User Guide," Computational Dynamics LTD. (1999).

[2] Inside Secrets "Visual C++ 6.0," (1999).

[3] 송길섭, 오석영, 오정진, "혼합탱크 내의 임펠라 형태에 따른 유동 특성에 관한 수치해석," 유체기계저널 제5권 2호 (2002), pp. 29-35.

[4] 장재원, 허남건, " 45°Pitched Paddle 형 교반기 내부의 유동 해석, " 한국전산유체공학회 2000년도 추계학술대회 논문집 (2000), pp.109-114.

[5] 최두성, 임예훈, 한상필, "고분자 반응기의 내부 유동 특성에 관한 연구," 한국전산유체공학회 2002년도 춘계학술대회 논문집 (2002), pp.134-139.