

입형 다단 원심펌프 유동특성에 관한 수치해석

모장오* · 강신정* · 송근택* · 김성동* · 이영호**

A Numerical Analysis on Flow Characteristics of Vertical Multi-stage Centrifugal Pump

J. O. Mo*, S. J. Kang*, K. T. Song*, S. D. Kim*, Y. H. Lee**

Key Words : Vertical Multi-stage Centrifugal Pump(입형 다단 원심펌프), Impeller(회전자), Guide Vain(안내깃), Power Efficiency(동력효율), Total Head(전양정)

Abstract

A commercial CFD code is applied to analyze the 3-D viscous flow field within vertical multi-stage centrifugal pump including impeller of centrifugal pump with 6 blades and guide vain with 11 blades. The numerical analysis of vertical multi-stage centrifugal pump is performed by changing flow rate from 8 to 26 m^3/h at the constant 3500rpm. The characteristics such as total pressure coefficient, total head, water horse power, power efficiency are represented according to flow rate changing.

In the future, we will need to perform flow calculation of vertical multi-stage centrifugal pump by considering meridional shape of impeller.

1. 서론

터보기계의 설계는 유체공학의 관련된 광범위한 지식이 필요하며 이론적인 면과 경험적인 것을 동시에 요구하는 매우 어려운 분야중의 하나이다. 현재의 터보기계의 성능개선의 관점에서 효율은 한계점에 도달해 왔으며 기존의 설계방법을 수정하여 1%의 성능을 향상시키는 것은 에너지의 이용관점에서 상당한 경제적인 효과를 파급하게 된다.^[1]

현재 산업용 펌프로 많이 사용되고 있는 횡형 펌프는 같은 용량에서 최소의 면적을 차지하면서 고성능을 낼 수 있는 입형 다단 Booster 펌프로 대체 되고 있는데 국내에서는 일부 외국 제품을 모방하여 제작하고 있으나 자체기술을 완전하게 확보하지 못하여 고효율의 Booster 펌프는 거의 수입하여 조립하는 실정이다. 특히, 어떤 Chemical에도 내식성이 우수한 티타늄 펌프는 전량 수입에 의존하고 있다.

본 연구에서는 입형 다단 원심펌프의 유동특성을 규명하고, 이를 설계에 반영시키기 위하여 상용코드인 TASCflow를 이용하여 3-D 점성 유체 영역을 비압축성, 정상상태로 계산하였다. 임펠러와 안내 깃의 설계는 CFX-Bladegen를 이용하여 초기 설계를 함으로서 설계 시 소요되는 전체 설계시간을 단축시켰다.

2. 유동해석

2.1 지배방정식 및 난류모델

CFX-TASCflow는 비압축성 난류유동의 해석에 3차원 Reynolds Averaged Navier-Stokes(RANS)방정식과 연속방정식을 지배방정식으로 하며, 이는 유한체적법에 의해 이산화된다. 수치해석은 3차원 비 압축성 정상상태 조건에 의하여 수행되었으며, $k-\omega$ 난류모델을 적용하였다. 일반적으로 상용코드에서 기본으로 제공하는 표준 $k-\epsilon$ 모델의 경우, 표면이나 벽면에서의 유동박리를 정확하게 예측하지 못하는 단점을 가지고 있다. CFX-TASCflow는 또한 $k-\omega$ 모델을 제공하고 있는데, $k-\omega$ 모델은 일반적으로 심한 유동박리가 발생하는 경우를 제외하고 상당히 정확한 예측을 가능하게 한다고 알려져 있다.^[2] 따라서 블레이드 표면에서 발생하는 유동박리에 대한 영향을 반영하여 해석의 정확도를 확보하기 위해 본 연구에서는 $k-\omega$ 모델을 적용하였으며, 대류항의 이산화 기법으로 2차 정확도를 가지는 수정(Modified) LPS 기법을 사용하였다.^[3]

2.2 입형 원심다단펌프 설계 조건

Fig. 1,2는 본 연구에서 사용된 임펠러와 안내깃의 설계도를 나타내며, 임펠러의 외경, 내경, 입구폭, 출구폭은 각각 106, 59, 13, 11.8mm, 안내 깃의 입구폭과 출구폭은 7, 12mm이다. Stepanoff는 효율이 좋고 실용적인 출구각도를 $17^\circ 30' \sim 27^\circ 30'$ 사이의 값을 권장하고 있으며 일반 펌프에서는 $20 \sim 30^\circ$ 가 가장 많고, 보통 $22^\circ 30' \sim 25^\circ$ 를 사용하기 때문에 본 연구에서는 임펠러 유입각과 유출각을 24.67° , 22.5° 로 정하였다. 임펠러와 안내 깃의 형상설계는 CFX-Bladegen를 이용하여 Bezier 곡선으로 형상을 초기화 하여 설계하였다.

* 한국해양대학교 대학원 jango@pivlab.net
* 한국해양대학교 대학원 kang@pivlab.net
* 한국해양대학교 대학원 gtsong@pivlab.net
* 한국해양대학교 대학원 sdkim@apollon.krs.co.kr
* 한국해양대학교 기계·정보공학부 lyh@pivlab.net

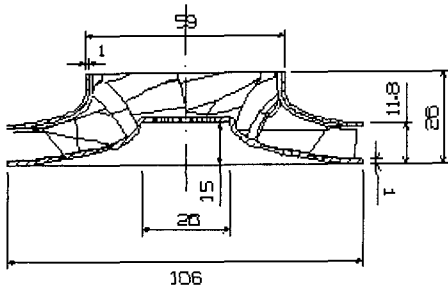


Fig. 1 Design Condition of centrifugal impeller

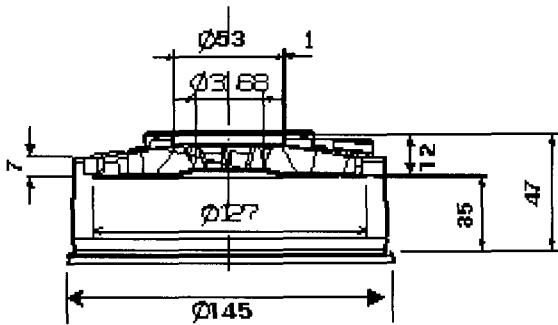


Fig. 2 Design Condition of guide vane

2.3 입형 원심다단 펌프 형상 및 계산격자

본 연구의 수치해석 대상으로 사용된 입형 원심 다단 펌프는 6개의 블레이드를 가진 임펠러와 11개 깃을 가진 안내 깃으로 구성된다. Fig. 3은 다단펌프에서 1단의 형상에 대한 깃을 나타내고 있다. Fig. 4는 본 계산에 사용된 격자 생성도를 나타내고 있으며 계산에 사용된 격자점의 수는 11만개로 하였다. 임펠러와 안내 깃은 터보기계 전용 격자 생성기인 Turbo-Grid를 사용하여 생성하였으며 임펠러와 안내 깃을 연결하는 원통 부분에 대해서는 ICFM-CFD를 이용하였다. 격자를 생성하는 과정에서 임펠러 주위에서의 우수한 격자를 확보하기 위하여 전체 도메인을 9블록으로 나누었으며, TASCflow 계산시 요구되는 최소각인 10° 보다 훨씬 큰 36° 각을 확보하여 수치계산시 발생하게 되는 오차에러를 최소한으로 줄였다. 임펠러와 안내깃은 각각 25°, 15°의 각을 확보하였으며, Fig. 5는 수치해석의 전체적인 흐름도를 나타내고 있다.

2.4 경계 조건

CFD를 통한 다단펌프의 해석에 있어서 적절한 가정을 통하여 수치계산에 소요되는 시간과 비용을 현저히 줄일 수 있다. 본 연구에서는 유동이 정상적이고 주기적이라는 가정을 하였으며 이는 임펠러와 안내 깃을 구성하는 각각의 날개 영역이 동일함을 의미한다. 그러므로 하나의 날개 영역만을 해석하였다. 수치계산에 사용된 경계조건으로 입구경계에서는 동일 압력 경계조건을 주었으며 출구에서는 동일 유량조건을 지정하였다. 그 외의 영역에서는 주기 경계조건과 벽면경계조건을 주었다.

본 수치계산의 경우 계산 영역 안에 임펠러인 회전부와 원통과 안내 깃을 포함하는 두 개의 정지부를 갖고 있으므로 MRF(multiple frame of reference)를 사용하였다. 따라서 임펠러를 포함하는 회전부의 벽은 상대좌표계에서 정지된 매끄러운 벽으로 처리하였으며 원통과 안내 깃을 나타내는 정지부의 벽은 절대 좌표계에서 정지된 매끄러운 벽으로 취급하였다. 여기서 회전부와 정지부 사이의 경계면에서의 정보 전달 방법은 "Frozen Rotor" 방식을 사용하였다.^[4]

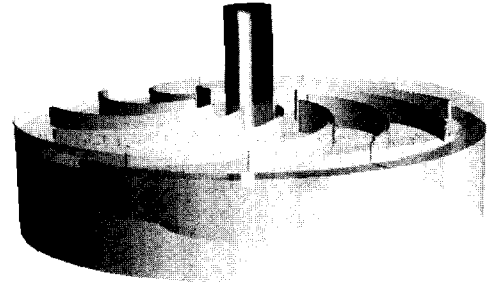


Fig. 3 Multi-stage pump Configuration

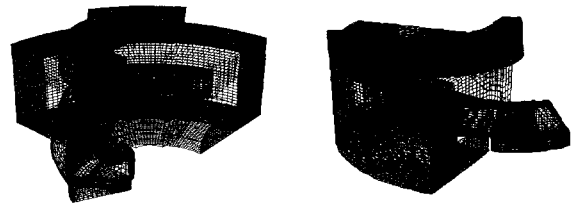


Fig. 4 Grid of Computational Domain

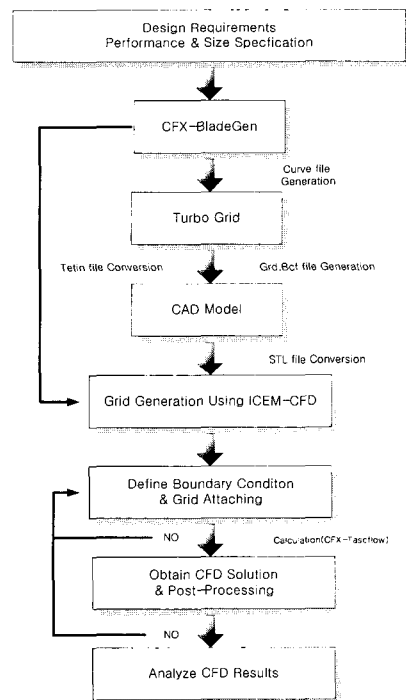
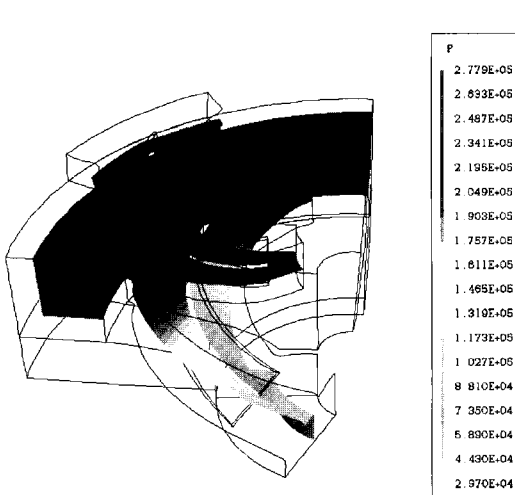
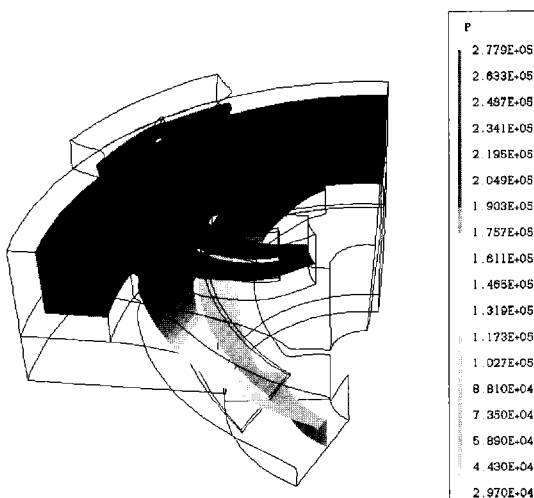


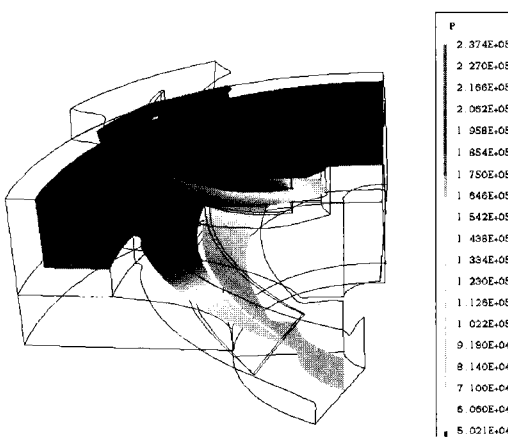
Fig. 5 Process of Numerical Analysis



(a) Flow Rate : 8 m^3/h



(b) Flow Rate : 16 m^3/h



(c) Flow Rate : 24 m^3/h

Fig. 6 Pressure Contour Distribution at the Span 50%

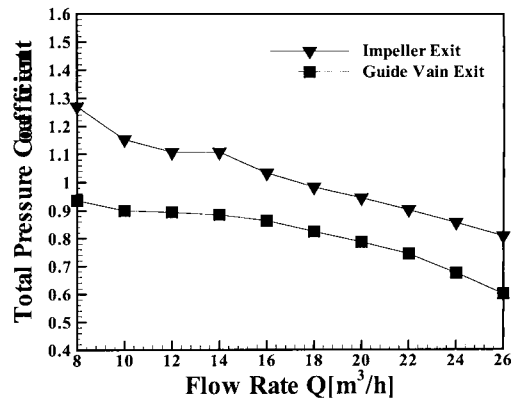


Fig. 7 Q - Total Pressure Coefficient at Impeller Outlet

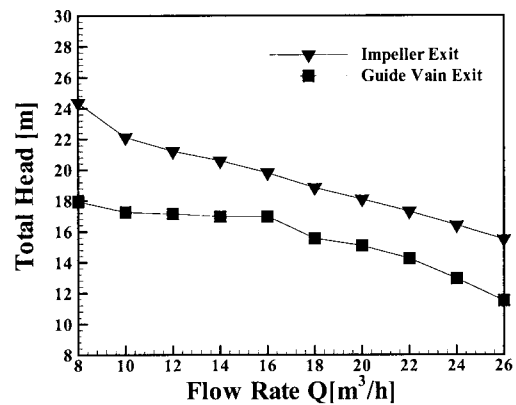


Fig. 8 Q - Total Head

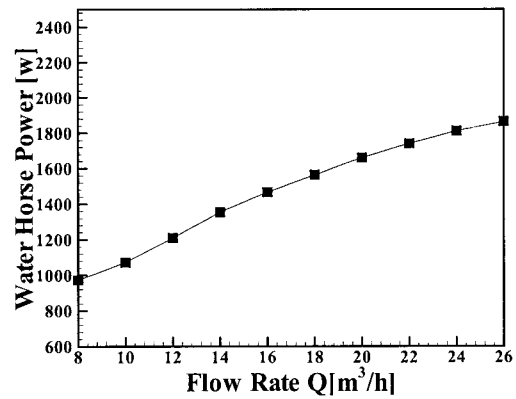


Fig. 9 Q - Water Horse Power

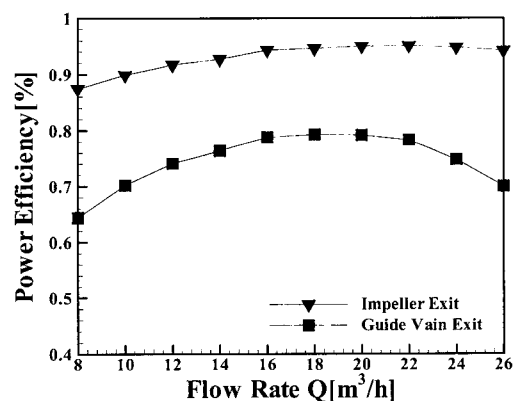


Fig. 10 Q - Power Efficiency

3. 계산 결과 및 고찰

본 연구에서는 6개의 깃을 가진 임펠러와 11개의 깃을 가진 안내깃으로 구성된 입형 다단원심펌프의 1단에 대하여 일정회전수, 가변유량을 적용하여 3차원 점성 유동 계산을 수행하였다.

Fig. 6(a) ~ (c)는 임펠러와 안내깃의 스펠 방향 50%지점에서 유량이 각각 8, 16, 24 m^3/h 일 때의 압력 분포를 나타내고 있다. 임펠러를 통과한 유체는 안내깃을 통과하면서 압력이 다소 떨어지고 있음을 Fig. 6 (a),(b),(c)를 통해 확인 할 수 있으며, 유량이 24 m^3/h 일 때, 안내깃의 출구에서의 압력이 상대적으로 낮은 분포를 보이고 있음을 알 수 있다.

Fig. 7은 임펠러와 안내깃 출구면에서 유량의 변화에 따른 전압계수의 변화를 나타내고 있다. 유량이 증가할수록 임펠러와 안내깃의 출구면에서 전압계수는 점점 낮아지는 경향을 보이고 있다. 또한 일정한 간격을 유지한 채 안내깃 출구면의 전압계수가 임펠러 출구면의 전압계수보다 다소 낮게 나오는데, 이는 임펠러를 빠져나온 유체가 안내깃을 통과하면서 마찰등의 손실로 인하여 유체의 압력이 감소한 것으로 판단된다, 임펠러 출구와 안내깃 출구와의 마찰손실차는 15%정도이다.

Fig. 8는 임펠러와 안내깃 출구면에서 유량과 전양정 관계를 나타낸 것이다. 유량이 증가할수록 전양정은 선형적으로 감소하는 경향을 보이고 있으며, 압력 차의 감소가 펌프의 양정에 직접적으로 영향을 미치고 있음을 확인 할 수 있다.

Fig. 9은 임펠러와 안내깃 출구면에서 유량의 변화에 따른 수동력의 변화를 나타낸 결과로서, 유량이 증가할수록 수동력이 증가하는 경향을 보이고 있다.

Fig. 10는 임펠러와 안내깃 출구면에서 유량의 변화에 따른 동력 효율(Power Efficiency)의 변화를 나타낸 결과이다. 안내깃 출구 지점에서 효율은 저 유량지점인 8 m^3/h 에서 효율이 가장 낮게 나타나고 있으며, 유량이 증가할수록 효율은 점차 증가하다가 설계 유량 16 m^3/h 지점에서 효율이 최대를 보이고 있으며, 탈설계점인 26 m^3/h 지점으로 갈수록 감소한 경향을 보이며 전체적으로 설계유량을 기준으로 타원형의 성능 곡선을 나타내고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 입형 다단 원심 펌프의 유동특성을 규명하기 위하여, 6개의 깃을 가진 임펠러와 11개의 깃을 가진 안내깃으로 구성된 입형 다단 원심 펌프의 1단의 경우에 대해서 동일회전수, 가변 유량을 적용하여 임펠러와 안내깃 주위의 유동해석 및 성능 평가를 수행하였다.

그 결과, 유량이 증가할수록 수동력은 점차 증가하였으며, 전양정은 선형적으로 감소하는 경향을 보이고 있었다. 그리고 안내깃의 출구면에서의 효율은 저 유량지점인 8 m^3/h 에서 효율이 가장 낮게 나타났으며, 유량이 증가할수록 점차 증가하다가 설계 유량 16 m^3/h 지점에서 최대 효율을 보이고 있었다.

임펠러를 통과한 유체는 안내깃을 통과하면서 압력이 다소 떨어지는 경향을 보였으며, 안내깃 출구면의 압력이 임펠러 출구면의 압력보다 다소 낮게 나오는데, 이는 안내깃 입구면을 향한 임펠러의 입사각과 임펠러를 빠져 나온 유체가 안내깃을 통과하면서 마찰등으로 인하여 유체의 압력이 감소한 것으로 판단되며, 마찰 손실차는 약 15%정도 발생하였다.

5. 참고문헌

- [1] 강신정, 안경훈, 이영호 “2차정도 와류 패널법에 의한 소형 원심 펌프 성능해석”, 대한기계학회 부산지부 춘계학술대회논문집 pp,264-270, 1999
- [2] 최영석, 이용갑, 홍순삼, 강신형, “상용 CFD코드를 이용한 원심펌프 임펠러의 성능해석”, 유체기계저널: 제4권,제1호, 2001, pp38-45
- [3] 심창열, 홍순삼, 강신형, “상용코드를 이용한 원심펌프 임펠러 유동평가” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, 2000, pp285-292
- [4] CFX TASCflow user Documentation, Theory Documentaton.