대한설비공학회 2009 하계학술발표대회 논문집 pp. 1322 ~ 1325

09-S-233

역설계 방법을 적용한 사류펌프의 임펠러 및 디퓨저 설계

이 경 용, 최 영 석†, 김 준 호*

한국생산기술연구원 에너지설비기술지원센터, *효성에바라(주)

Design of Impeller and Diffuser for Mixed Flow Pump with Inverse Design Method

Kyoung-Yong Lee, Young-Seok Choi†, Jun-Ho Kim*

ABSTRACT: The impeller and vane diffuser for the mixed flow pump(NS550) was designed by using meridional selection program and inverse design method. We decided the meridional shape of the impeller from the meridional design parameter, such as the specific speed and maximum diameter at the impeller exit. The meridional shape of vane diffuser was set from the impeller shape, distribution of cross sectional area and maximum diffuser diameter. The angle of impeller blade and diffuser vane was designed by using inverse design method. The predicted overall performance by using commercial CFD code(ANSYS CFX-11) shown good agreement with design goals.

Key words: Mixed flow pump(사류펌프), Meridional shape(자오면 형상), Inverse design method(역설계방법), CFD(전산유체역학)

기 호 설 명

H : 양정 [m]
Q : 유량 [CMH]

그리스 문자

η : 효율 [%]

하첨자

t : 전압 조건
design : 설계점 조건

† Corresponding author
Tel.: +82-41-589-8337; fax: +82-41-589-8330
E-mail address: yschoi@kitech.re.kr

1. 서 론

펌프를 설계하는 과정을 살펴보면 펌프의 형식과 크기를 결정하는 자오면 형상 설계와 설계된 자오면 하에서 날개 형상을 결정하는 설계로 크게 구분할 수 있다. 자오면 설계를 통해 최고 효율이 기대되는 형식이 결정되기 때문에 기존의 연구 결과 및 설계 경험 내에서 설계를 수행하는 것이 일반적이다. 따라서 펌프 선진 업체의 경우, 독자적인 자오면을 확보하고 있으며 고효율 및 흡입성능 개선과 같은 특정 성능 향상을 위해 특별한 자오면 설계를 통해 대응하는 사례가 있다. 펌프의 날개 형상 설계 역시, 자오면 설계와 유사하게 수백년의 전통을 가진 날개 형상 생성 방법에 의존해 왔으며 이렇게 누적된 정보들은 펌프 제작 업체의 기술력을 대변해 왔다. 그러나 최근 컴퓨터 및 3D 모델링 기술 발달로 인하여

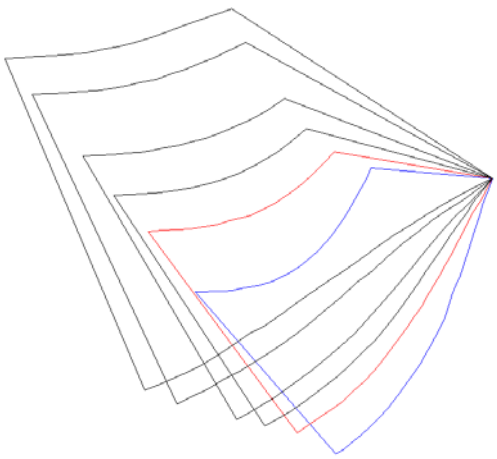

Fig. 1 Meridional shapes of mixed flow pump impellers

기존 펌프 형상에 대한 분석이 가능해져 이러한 정보를 바탕으로 하는 자오면 및 날개 형상 설계 관련 상용 프로그램이 소개되고 있으며 실제 설계에 적용되고 있는 실정이다.

본 연구는 독자적인 펌프 자오면 및 날개형상 정보 확보를 목표로, 펌프 운전 조건 및 형상 제한 조건을 만족하는 펌프 자오면을 설계하였으며 임펠러(impeller) 및 디퓨저(diffuser)의 날개 형상을 역설계방법(inverse design method)으로 설계하였다. 자오면 설계는 자체적으로 보유하고 있는 자오면 설계 프로그램을 사용하였다.

2. 자오면 설계

2.1 임펠러 자오면 설계

설계 대상 펌프는 비속도 550의 사류 펌프이며 임펠러의 유지보수를 위해 임펠러 단독으로 분해가 가능한 형식(semi-pull out)으로 설계가 요구되었다. 사류펌프가 semi-pull out 형식으로 설계되려면 임펠러의 최대 반경이 디퓨저의 최소 반경보다 작아야 하며 경우에 따라서 간극을 규정하기도 한다.

본 연구에서는 임펠러와 디퓨저의 반경방향 간극의 최소값을 50mm로 규정하고 디퓨저 최대 반경을 기존의 선진사 제품 대비 동등 또는 이하로 설계하도록 결정하였다. 임펠러 자오면 설계는 자체적으로 보유하고 있는 자오면 설계 프로그램을 적용하였다. 자오면 설계 프로그램은 비속도와 임펠러 출구 직경에 의해 형상이 결정된다.

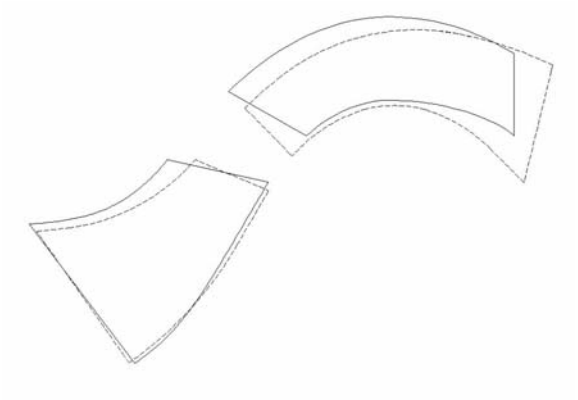

Fig. 2 Comparison of meridional shapes between designed(line) and existing(dot) model

Fig. 1의 비속도별 자오면 정보는 역설계방법을 적용하여 비속도별 자오면을 규정한 연구결과[1)]를 분석하고 자체적으로 보유한 특정 비속도의 자오면 정보를 추가하여 얻어진 결과이다. 현재 각각의 비속도별로 최적의 자오면 형상으로 대표될 수 있는지에 대한 검증이 필요한 상황이나 자오면부터 설계를 해야 하는 연구범위에서는 시작하는 단계에서 유용하게 적용이 가능하리라 판단된다.

2.2 디퓨저 자오면 설계

디퓨저 자오면은 임펠러 출구 형상을 기초로 설계된다. 본 연구에서는 디퓨저 형상에 대해 임펠러 출구 이후의 자오면 형상을 유지하면서 최대 반경 및 구간별 단면적 제어가 가능하도록 디퓨저 자오면 설계 변수를 정의하였다.

Fig. 2에 설계된 임펠러 및 디퓨저 자오면 형상을 선진사 자오면과 비교한 결과를 나타내었다. 실선으로 나타낸 설계 자오면 형상과 점선으로 나타낸 선진사 자오면 정보를 비교해 보면 임펠러의 경우, 쉬라우드(shroud)에서 차이를 보이며 디퓨저는 전체적으로 반경방향으로 커지고 축방향으로 짧아진 경향을 볼 수 있다. 설계 요구사항 중 semi-pull out 조건으로 인하여 디퓨저 설계에 있어 반경방향 크기 증가는 불가피하였으나 유사한 비속도대에 있는 디퓨저 설계 조건을

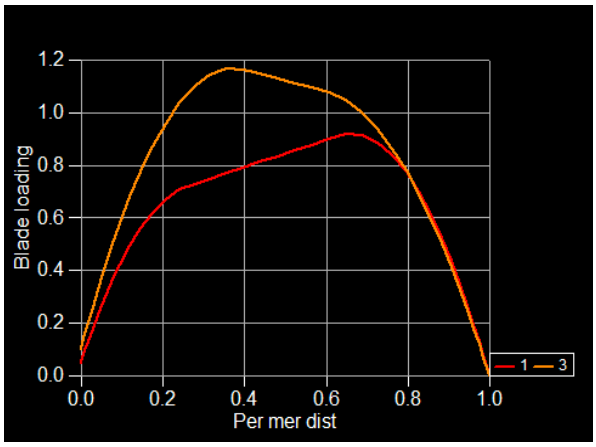

Fig. 3 Blade loading distribution of impeller

최대한 반영하여 얻은 결과이다. 앞서 임펠러 자오면 설계에서 언급했던 바와 같이 디퓨저 자오면 역시 최적 형상에 대한 검증이 필요하다.

3. 날개 형상 설계

3.1 임펠러 날개 형상 설계

본 연구에서는 임펠러 및 디퓨저의 날개 형상을 기존의 전통적인 설계 방법이 아닌 역설계 방법(TurboDesign^{-1})을 적용하였다. 전통적인 방법과 역설계방법의 차이는 날개 형상을 결정하는 방법에서 발생한다. 전통적인 설계 방식은 임펠러 및 디퓨저 날개 형상 자체를 제어하기 때문에 설계자의 능력에 따라 여러 번의 시행착오가 발생한다. 이와 반대로 역설계방법은 설계자가 설계결과라고 할 수 있는 날개 부하(blade loading)을 직접 제어하고 그 결과로 날개 형상이 설계되기 때문에 상대적으로 시행착오를 줄일 수 있다.

임펠러 날개 형상을 역설계방법으로 설계하는데 있어 가장 중요한 것은 날개 부하 분포의 결정이다. 형상 변수가 아닌 날개 부하 분포와 관련 있는 변수를 설정하기 때문에 초기 설정값이 중요한 역할을 한다. 본 연구에서는 비속도 560인 펌프의 역설계 결과[1)]에서 최적값으로 제시한 날개 부하 분포를 초기 설정값으로 적용하였다. 역설계방법에서는 유사한 비속도를 갖는 영역에서는 날개 부하 분포의 경향도 유사하기 때문에 이런 시도가 가능하다.[2)] Fig. 3에 임펠러 설계에 적용한 날개 부하 분포를 나타내었다. 펌프의 설계점 조건(유량 및 양정)을 입력하고 Fig. 3과 같이 날개 부하 분포를 설정 하면 역설계 프로그램 계점 조건(유량 및 양정)을 입력하고 Fig. 3과 같이 날개 부하 분포를 설정 하면 역설계 프로그램에서 비점성 계산을 통해 수렴된 3차원 형상을 제공한다.

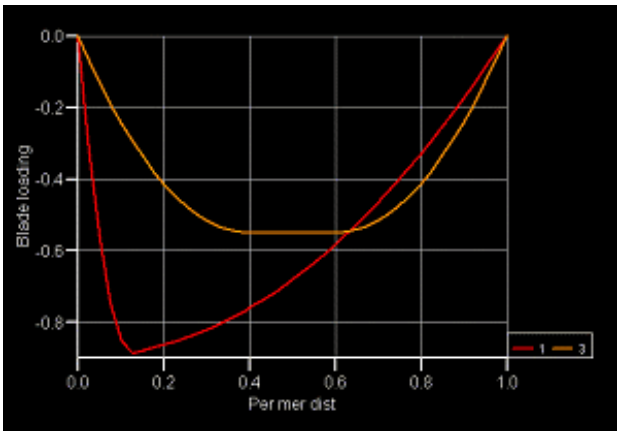

Fig. 4 Blade loading distribution of diffuser vane

3.2 디퓨저 베인 형상 설계

디퓨저 베인(vane) 형상 설계는 임펠러 날개 형상 설계와 유사한 과정으로 진행된다. 앞서 자오면 설계에서 임펠러 출구 자오면 형상을 고려한 바와 같이 디퓨저 베인 설계 역시 임펠러 출구 날개각 및 유동 조건의 영향을 받는다. Fig. 4에 설계에 적용한 날개 부하 분포를 나타내었는데 임펠러와 동일하게 비속도 560의 디퓨저 베인 설계 입력값를 초기값으로 설정하였다. Fig. 3의 임펠러 날개 부하 분포와 비교해보면 음의 날개 부하를 갖는 특징이 있다. 또한 유사한 비속도를 갖는 경우, 최적의 날개 부하 분포가 존재하는 임펠러와 달리 디퓨저 베인 설계는 임펠러 출구 유동장에 따라 입구 날개각을 수정해야 하기 때문에 초기값을 여러 번 수정하였다. Fig. 5에 최종적으로 설계된 임펠러 및 디퓨저의 3차원 형상을 제시하였다.

4. CFD를 활용한 성능 검증

설계된 펌프의 성능을 확인하는 방법으로 최근 CFD를 활용한 검증 방법이 널리 사용되고 있다. 본 연구에서는 임펠러 날개 1개와 디퓨저 날개 2

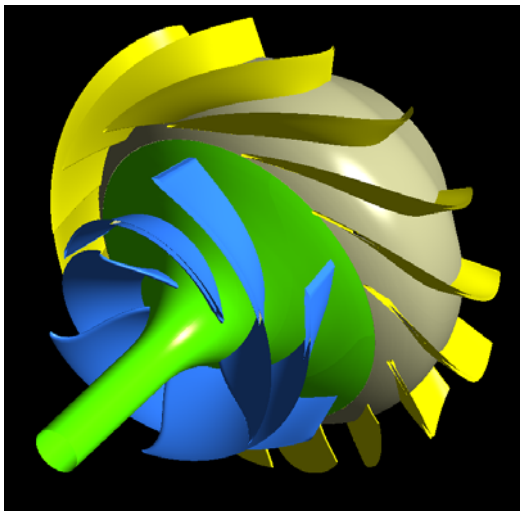

Fig. 5 Designed impeller and diffuser

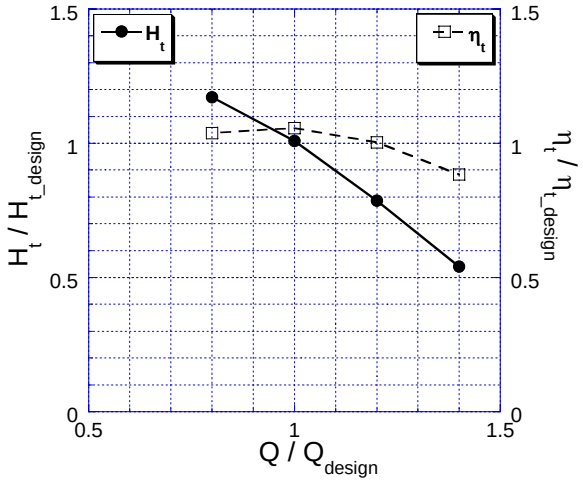

Fig. 6 Performance curve of designed pump

개를 포함한 영역을 대상으로 수치해석을 수행하였으며 임펠러 및 디퓨저 만의 성능을 확인하기 위해 임펠러 입구부 형상 및 디퓨저 출구부 형상은 간략화 하였다. 해석을 위해 상용 유체기계 격자 생성 프로그램인 ANSYS TurboGrid-11을 사용하였으며 ANSYS CFX-11로 수치해석을 수행하였다. 해석 조건으로는 입구부에 대기압 조건, 출구에 질량유량 조건을 부여하였으며 회전하는 임펠러와 정지하고 있는 디퓨저를 함께 계산하기 위해 frozen rotor 경계조건을 사용하였다.

수치해석 결과는 펌프 성능시험과 유사하게 특정 유량 조건에서 펌프 입/출구부의 양정 상승으로 정리되며 임펠러 날개에 걸리는 토크를 사용하여 펌프의 효율을 계산한다. CFD를 통해 예측된 펌프 성능곡선을 Fig. 6에 나타내었다. 양정 은 수치해석에서 고려하지 않은 조건으로 인한 설계 여유치(약 9.4%)를 고려한 설계 요구 양정으로 무차원화 하였고 효율은 설계 여유를 고려하지 않은 펌프 자체 요구 효율로 무차원화 하였다. 따라서 수치해석을 통해 예측된 양정의 경우 설계 여유치가 반영된 설계 요구 양정을 맞추는 설계가 필요하며 효율은 극대화가 되도록 설계를 해야 한다. 본 연구의 결과를 보면 설계점 유량 조건(Q/Q_design=1)에서 설계 여유치가 반영된 양정을 정확하게 만족하고 있으며 효율은 펌프 요구 효율을 기준으로 약 5.6% 상승된 설계가 이루어졌다. 향후 설계된 형상을 대상으로 축소된 모형 펌프를 제작하여 성능시험을 수행할 예정이며 수치해석 결과와의 비교를 통해 수치해석을 적용한 펌프 설계에 있어 설계 여유에 대한 분석에 사용할 예정이다.

4. 결론

본 연구는 비속도 550의 펌프를 대상으로 설계 요구 조건을 만족하는 펌프를 설계하였다. 임펠러 및 디퓨저 자오면은 자체적으로 보유하고 있는 자오면 선정 프로그램을 사용하였으며 임펠러 날개 및 디퓨저 베인 형상은 역설계방법을 적용하여 설계하였다. 설계된 형상은 CFD를 통해 성능을 예측하였으며 설계 요구조건을 만족하는 설계가 이루어졌다. 자오면 선정 프로그램 및 역설계방법을 적용한 펌프 설계 과정에 대한 시도로부터 가능성을 확인하였다.

참고문헌

1. Sakurai, T., Saito, S., Goto, A. and Ashihara, K., 1999, Pump Design System based on Inverse Design Method and Its Application to Development of Diffuser Pump Series, Proceedings of the 3rd ASME/JSME Joint Fluids Engineering Conference, FEDSM99-6845.
2. TURBOdesign-1 version 2.3.0b6, 2006, Documentation, Advanced Design Technology Ltd (www.adtechnology.co.uk), London.