

입축사류 펌프의 유체-구조 연성해석

장방웨이*, 콧민석**, 김정현*, 김진곤*

*대구가톨릭대학교 자동차공학과

** (주)그린텍

e-mail: zhangbangwei@naver.com

Fluid-Structure Interaction Analysis of Vertical Mixed-Flow Pump

Bang-Wei Zhang*, Min-Seok Kwak**, Jeong-Hyun Kim*, Jin-Gon Kim*

*Dept. of Automotive Engineering, Daegu Catholic University

**GREEN TECH

요약

펌프는 전체 산업에서 높은 비중을 차지하는 에너지 변환을 이용하는 대표적인 유체기계이다. 펌프와 같은 유체기계의 설계는 유체공학과 관련된 광범위한 지식이 요구되는 어려운 분야로서, 펌프 효율향상을 위해 유동해석이 활발하게 적용되고 있다. 산업용 펌프들은 내부 유체거동이나 계절적 영향 등에 의해 펌프 본체에 고장이 나거나 오작동을 발생시킬 수 있어 구조적 안전성도 요구된다. 본 연구에서는 ANSYS-CFX를 이용하여 입축사류 펌프의 유동 해석을 수행하여 펌프의 유동특성을 분석하고, ANSYS Workbench를 이용하여 유동해석과 연계된 구조해석을 통하여 펌프의 구조적 안전성을 평가하였다.

1. 서론

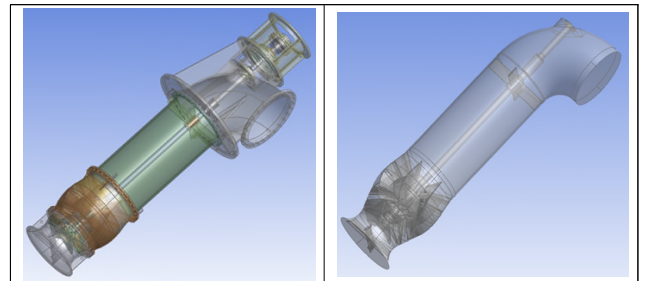
입축 사류펌프는 산업현장에서 많이 사용되고 있는 매우 큰 소비동력을 필요로 하는 유체기계이다. 고유가 및 친환경 측면에서 에너지 절약을 위해 입축 사류펌프의 효율개선이 매우 중요한 문제가 되고 있다. 사류펌프는 비속도가 원심펌프와 축류펌프의 중간에 위치하고 있고 동일 용량의 원심펌프보다 소형 경량화의 이점을 가진다. 이와 같은 이점 때문에 원심 및 축류펌프를 빠른 속도로 대체해 가고 있다.

최근에는 고효율의 펌프 개발을 위해서 복잡한 3차원 유동 해석을 활용하는 연구들이 활발하게 이루어지고 있다[1-4]. 본 연구에서는 ANSYS-CFX 소프트웨어를 이용하여 임펠러 회전 상태에서 입축 사류펌프의 유동특성을 분석하였다. 또한, 산업용 펌프들은 내부 유동이나 다양한 요인에 의한 고장이 발생할 수 있어 구조적 안전성이 요구된다. 이러한 유동에 의한 펌프의 구조적 안정성 검토를 위하여 최종적으로 유체-구조 연성해석(Fluid-Structure Interaction Analysis)을 수행하였다.

2. 입축 사류펌프 유동해석

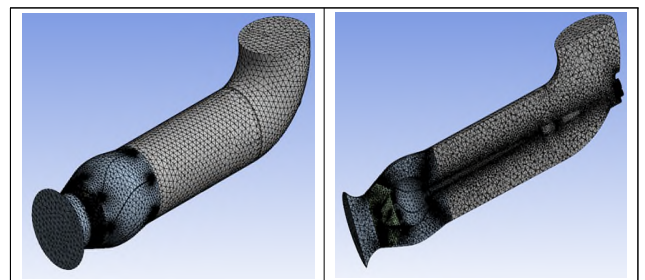
FSI(Fluid-Structure Interaction Analysis)해석을 위하여

펌프 상세 3D 모델을 구성하고, 유동해석을 위해 유동 영역이 추출된 모델링 단순화 작업을 그림 1과 같이 수행했다.



[그림 1] 입축 사류펌프의 유동해석용 모델링

계산영역 구성을 위한 격자 형성 작업은 ANSYS Workbench 및 ICEM CFD를 이용하여 이루어졌으며, 사면체 요소를 적용하여 그림 2와 같이 유동해석용 유한요소모델링을 수행하였다.



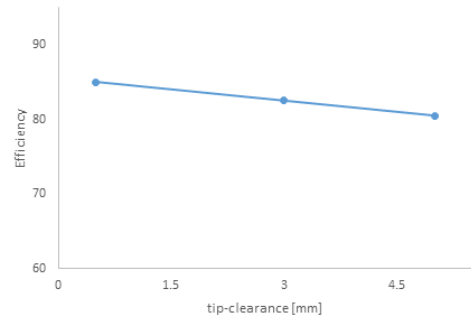
[그림 2] 유동해석용 유한요소모델링

해석은 ANSYS CFX를 사용하였으며, 계산 수행을 위한 경계조건은 다음과 같이 부여하였다.

- 입구부 압력 조건: $1.1565 \times 10^5 [Pa]$
- 출구부 압력 조건: $1 atm$
- Rotor 회전 속도: $441 [rpm]$
- 온도 조건: $T = 296.15 K$
- 난류 모델 $k-\Omega$ 적용

제시된 경계조건들을 기반으로 유동 전산해석 프로그램인 CFX에 의해 계산되어진 결과들이 그림 3에 제시되어 있다. 펌프 운행 속도인 $441rpm$ 으로 임펠러의 회전 조건을 적용 시 회전에 의해 유입구로부터 작동 유체가 펌프 내부로 흡입되어 고정 vane들 사이를 통과해서 출구부까지 통과하는 모습이 내부 streamline형상을 통해 관찰된다. 그림 4는 펌프 내부 속도장 분포를 보여주고 있다. 그림에서 회전 로터를 지나 vane 영역을 통과한 후의 유동 흐름 양상은 로터 회전의 영향을 받아 vane 뒷부분과 출구부 쪽 축 끝단이 지지되는 부분의 와류(eddy) 형성과 정체영역이 발생하는 것을 보여준다.

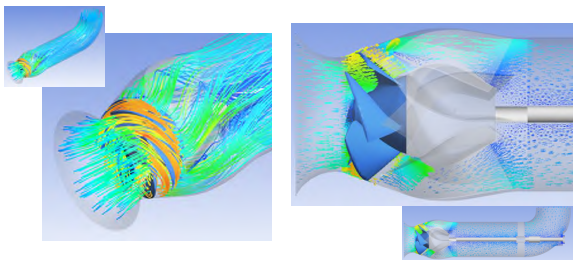
그림 5는 회전 로터와 펌프 하우징 사이의 간극 (tip-clearance)에 따른 펌프 효율 변화를 보여주는 그래프이다. 초기 간극은 0.5 mm이며, 2차 3mm, 3차 5mm로 설정하여 계산하였다. 간극이 커질수록 초기 0.5mm 대비 2.94%, 5.29%로 감소하는 경향을 나타내고 있다.



[그림 5] 간극 변화에 따른 효율

3. 펌프 구조해석

펌프의 유동에 의한 구조적 안전성을 살펴보기 위하여 그림 6을 보는 바와 같이 앞서 기술된 유동해석과 연계된 1-Way FSI(Fluid-Structure Interaction) 해석을 수행하였다[5]. 해석을 위하여 그림 7과 같이 총 170개의 면을 정의한 후 유동해석 결과를 맵핑하였다. 그림 8은 구조해석을 위해 해석대상 펌프 몸체의 유한요소모델을 보여주고 있다. 해석의 정확도를 위하여 육면체 요소를 이용한 mapped mesh를 주로 적용하였으며, 펌프 몸체의 유한요소는 약 430만개이고 임펠러는 약 45만개의 요소로 모델링하였다.

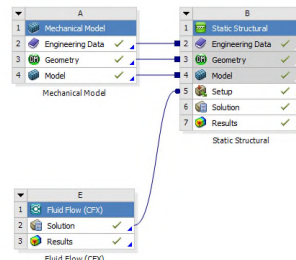


[그림 3] Streamline and velocity vector of the pump inside



[그림 4] Velocity distribution of the pump inside

ANSYS Workbench 1-way FSI 해석



Mechanical Model:

Modelling
Meshing

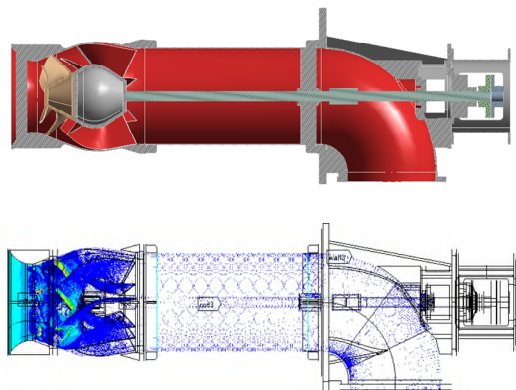
Static Structural:

Fixed Support
Named Selections
Mapping
Equivalent stress
Total Deformation

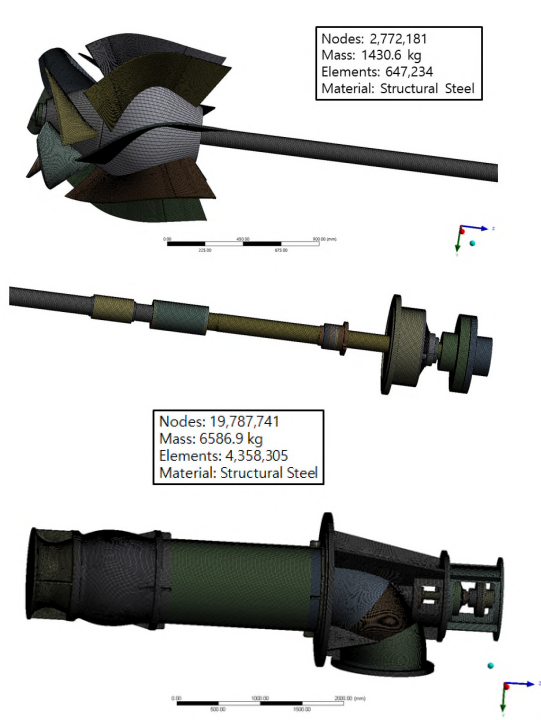
Fluid Flow (CFX):

유동해석결과

[그림 6] ANSYS FSI Analysis

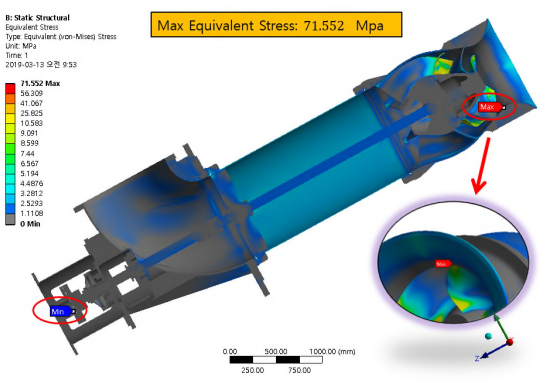


[그림 7] 유동해석 결과의 펌프 몸체 맵핑

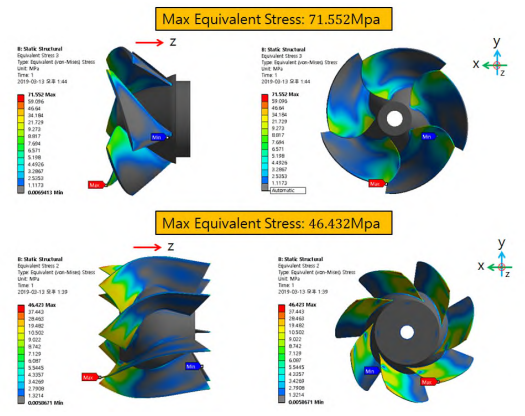


[그림 8] 펌프 유한요소모델링

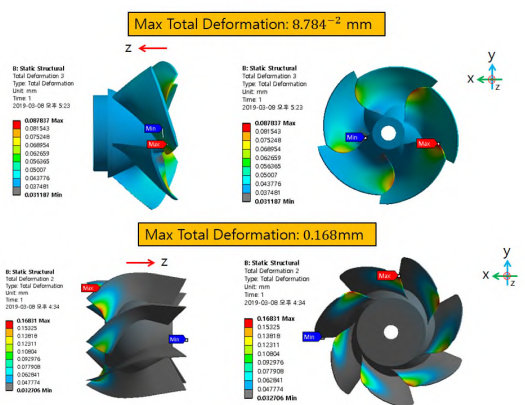
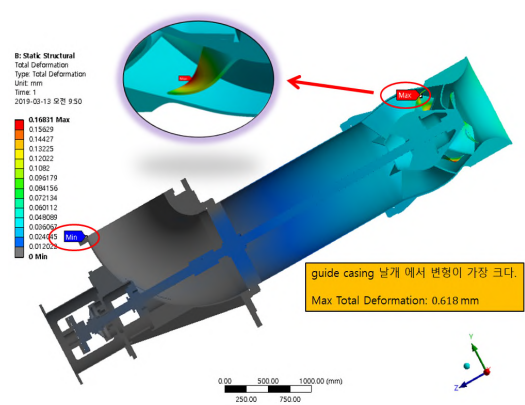
그림 9와 10은 펌프에 발생하는 응력분포를 나타내고 있다. 임펠러에서 71.6 MPa의 최대응력이 발생하였으며, 안내 케이싱 vane에서 46.4 MPa의 상대적으로 큰 응력이 발생하였다. 그림 11은 유동 압력으로 인한 변형은 안내 케이싱 vane 앞 중간 부분에서 최대 변형이 발생하였으나 전체적인 변형량은 펌프 크기 대비 무시할 만한 수준인 것으로 나타났다. 이러한 유체-구조 연성해석 결과로부터 펌프 작동 시 유동에 의한 펌프의 강성이나 강도 측면에서의 문제점은 발생할 가능성이 낮으며, 구조 최적화를 통해 무게를 줄일 수 있는 여지가 클 것으로 판단된다.



[그림 9] 펌프 몸체 단면의 응력분포



[그림 10] 임펠러와 안내 케이싱의 응력분포



[그림 11] 펌프 몸체와 임펠러, 안내 케이싱의 변형량 분포

4. 결론

본 연구에서는 ANSYS-CFX 소프트웨어를 이용하여 임펠러 회전 상태에서 입축 사류펌프의 유동특성을 분석하고, 유동 데이터에 의한 펌프의 구조적 안정성 검토를 위하여 최종적으로 유체-구조 연성해석(Fluid-Structure Interaction Analysis)을 수행하였다. 펌프 운행 속도에 해당하는 임펠러의 회전 조건을 적용하여 유동해석을 수행하였으며, 임펠러와 펌프 하우징의 간극에 따른 효율 변화를 확인할 수 있었다. 또한, 펌프 내부의 유동에 의한 구조적인 강도나 강성 측면의 안전성을 FSI 해석결과를 통하여 확인할 수 있었다.

후기

본 연구는 2019년 중소벤처기업부 기술혁신개발사업
(과제번호: S2591068)의 지원을 받아 수행되었음.

참고문헌

- [1] 김성, 이경용, 최영석, “성능향상을 위한 사류펌프 임펠러 설계 최적화”, 대한기계학회 유체공학부문 춘계학술대회, pp. 23-24, 2014년.
- [2] 천청청, 패트릭마크싱, 최영도, “운전조건에 따른 펌프 터빈 시스템의 안정성 연구”, 한국유체기계학회 논문집, 제 18권 3호 pp. 46-52, 2015년.
- [3] 심현석, 김광용, 최영석, “비속도에 따른 원심펌프의 내부 유동 특성 연구”, 한국유체기계학회 논문집, 제 20권 3호 pp. 26-35, 2016년.
- [4] 김동휘, 노유정, 임오강, 최은호, 최주용, “양방향 펌프의 유동해석을 통한 펌프 케이싱의 최적설계”, 한국전산구조공학회 논문집, 제 31권 2호 pp. 79-85, 2018년.
- [5] S. Yuan, J. Pei, J. Yuan, “Numerical Investigation on Fluid Structure Interaction Considering Rotor Deformation for a Centrifugal Pump” Chinese Journal of Mechanical Engineering, Vol. 24 No. 4, pp. 539-545, 2011.