

## 심정용 해수펌프 개발을 위한 수치해석 연구

김영주\* · 김영훈\*\* · 우남섭\* · 권재기\*

\*한국지질자원연구원 광물자원연구본부

\*\*경남대학교 조선해양IT공학과

# Numerical Study for Development of Submerged Seawater Lift Pump

Young-Ju Kim\*, Young-Hun Kim\*\*, Nam-Sub Woo\* and Jae-Ki Kwon\*

\*Minreal Resources Research Division, KIGAM, Daejeon, Korea

\*\*Naval Architecture, Ocean and IT Engineering, Kyungnam University, Changwon, Korea

**KEY WORDS:** Seawater lift pump 해수펌프, Mixed flow pump 사류펌프, Floating production storage and offloading 부유식원유생산설비, Total head 전양정

**ABSTRACT:** Seawater lift pump systems are responsible for maintaining open canal levels to provide the suction flow of circulating water pumps at the set point. The objective of this paper is to design a 2-stage mixed flow pump (for seawater lifting), investigate the new impeller modeling method, and performance improvements of the impeller by using a commercial CFD code. The rotating speed of the impeller is 1,750 rpm with a flow rate of 2,700 m<sup>3</sup>/h. A finite volume method with a structured mesh and realized *k-ε* turbulent model is used to guarantee a more accurate prediction of turbulent flow in the pump impeller. The performance variables such as the static head, brake horsepower, and efficiency of the mixed flow pump are compared based on changes in the impeller blade shape.

### 1. 서 론

원심펌프는 다양한 종류와 형태로 개발되어 여러 산업분야에서 사용되고 있다. 그러나 펌프의 설계 및 성능 예측은 매우 어려운 작업인데, 이는 적용 효과를 바로 평가하기 힘든 매우 다양한 설계 변수가 존재하기 때문이다. 일반적으로 펌프는 많은 실험 결과와 설계 노하우를 통해 최적화 설계를 수행한다. 고효율의 펌프를 제작하는 업체의 경우는 독자적인 설계 데이터와 누적된 실험 결과가 잘 갖추어져 있으며, 이러한 정보들이 곧 회사의 기술력으로 대변되고 있다.

원심펌프의 한 형태인 사류펌프는 해양플랜트 분야에서 유체의 이송이나 발전소의 냉각수 펌프로 많이 사용되고 있는데, 산업 현장에서 사용되는 사류펌프는 수천 kW 급의 소비동력이 매우 큰 에너지 다소비형 기계로서 최근의 고유가 시대와 맞물려 효율 개선을 통한 에너지 절약이 매우 중요한 문제로 대두되고 있다. 특히 해양플랜트 분야에서 사류펌프의 적용은 유럽, 미국 및 일본의 주도하에 있으며 국산화율은 매우 저조한 수준이다. 이에 국내에서도 사류펌프를 비롯한 각종 펌프에 대한 연구 활동이 활발히 진행되고 있으며, 펌프 제작 회사나 연구기관 별로 수차례의 연구 결과가 보고되고 있으나 국산화 개발 실적은 미미한 수준이다.

해양플랜트용 해수펌프는 Fig. 1에 보이는 바와 같이 일반적

으로 크게 4가지 타입으로 분류할 수 있는데, 각 타입의 펌프는 필요 유량과 양정 및 설치 조건에 따라 적합한 펌프가 적용된다. 본 연구에서는 사용빈도와 개발 가능성이 높은 것으로 조사된 심정용(Submerged type) 사류펌프 개발을 목표로 선정하였다.

사류펌프를 포함한 여러 종류의 펌프에 대한 국내외 연구 동향을 살펴보면, 국내에서는 사류펌프의 성능향상을 위해서 임펠러 최적설계 및 디퓨저 형상 변수가 펌프 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 임펠러의 최적설계를 위하여 자오면이 고정된 상태에서 임펠러의 날개전개도에 대한 제어 변수들을 정의하였으며 고전적 설계방식과 실험계획법을 이용하여 임펠러의 최적화 연구를 수행하였는데, 디퓨저 출구부 변수보다 입구부 변수가 펌프의 성능에 많은 영향을 미친다는 것을 확인하였다(Kim et al., 2009). 역설계 관련 연구로는 노후 된 소수력 발전용 수차의 성능향상 연구가 수행된 바 있는데, 수차의 3D 스캔 자료와 자체 개발한 역설계 알고리즘을 이용해서 수차의 설계 및 수치해석을 수행하여 성능향상 방안을 도출하였는데 이들은 역설계를 통해서 블레이드 형상을 최적화 하였으며 또한 블레이드의 수를 증가시켜 수차 내 동압을 증가시켰다(Ha et al., 2010). 원심펌프의 임펠러 성능향상 연구로는 펌프 외경, 출구 폭 및 날개각도는 변화시키지 않고 임펠러의 날개각을 변화시키고 날개수를 증가시켜 임펠러의 수력하중분포를 향상시킴으로써 펌프 성능을 개선한 바 있다(Oh and Kim, 2001).

교신저자 우남섭: 대전광역시 유성구 과학로 124, 042-868-3134, nswoo@kigam.re.kr

본 연구는 2011년 울산에서 개최된 해양플랜트설계연구회 춘계워크숍에 발표된 논문을 근간으로 하고 있음을 밝힙니다.

사류펌프의 양정을 향상시키기 위한 연구로는 사류펌프의 양정과 효율 향상을 위해서 임펠러 최적설계 및 디퓨저 형상 변수가 펌프 성능에 미치는 영향을 분석하였는데 임펠러만 살펴보면, 양정의 경우 임펠러 입구부 변수보다 출구부 변수가 펌프의 성능에 더 많은 영향을 미친다는 것을 확인하였다. 반면 효율은 최대를 보이는 일정한 범위의 출구각 영역이 존재하는 것을 확인하였다(Choi et al., 2007; Lee, et al., 2008).

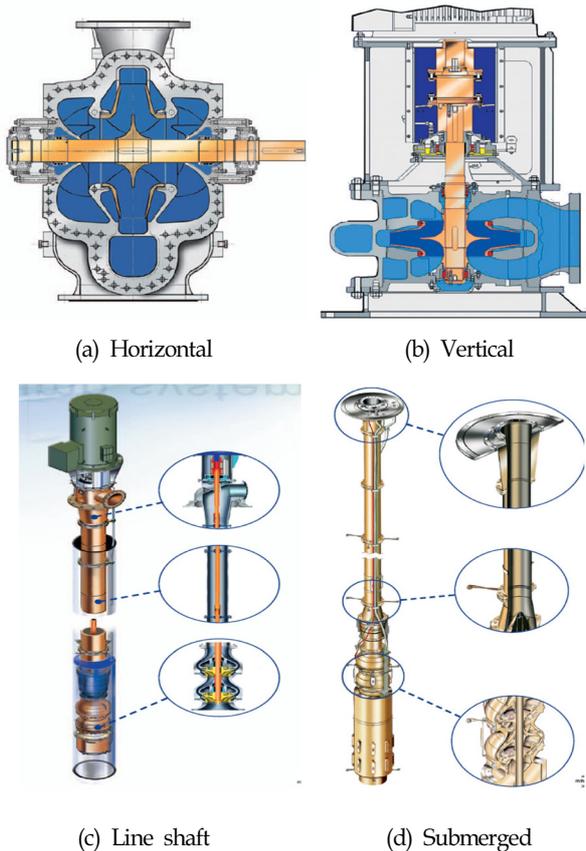


Fig. 1 Classification of the seawater lift pump

국의 연구를 살펴보면, 사류펌프 성능향상 연구로 유량 40m<sup>3</sup>/h 용량의 펌프에 대해서 CFD를 이용하여 사류펌프 임펠러에 대한 성능분석 연구를 수행하여 효율, 동력을 계산하였다. 또한 성능향상을 위해서 임펠러 형상을 변경하여 성능 변화를 예측하였는데 블레이드 두께, 쉬라우드 높이 및 직경, 베인의 입·출구 각도 등의 변화에 따른 펌프의 성능 변화를 정량적으로 분석하였다(Manivannan, 2010). 역설계(Inverse design method) 방법을 이용한 연구로 원심펌프의 임펠러 설계와 최적화 연구를 수행하는데 CFD 해석을 통해서 설계 성능을 검증하여 역설계 방법을 이용한 원심펌프의 설계 절차를 정리한바 있다(Asuaje et al., 2004). 펌프가 어느 정도 최적화 되어 있는 상태에서 추가적으로 펌프의 효율을 향상시키기는 매우 어려운데, 실험적 연구를 통해서 임펠러의 볼루트 디자인을 변경하는 방법과 임펠러 블레이드의 수를 늘리는 방법으로 펌프의 효율을 향상시킬 수 있다고

보고한 바 있다(Baun and Flake, 2003).

본 연구에서는 외산 선진업체가 선점하고 있는 해양플랜트용 해수펌프의 국산화 개발의 일환으로, 사용빈도와 개발 가능성이 높은 것으로 조사된 선진 심정용 사류펌프를 벤치마킹하였다. 따라서 3D 스캔된 벤치마킹 펌프 임펠러의 CAD 도면을 이용하여 수치해석을 위한 모델링 작업을 효율적으로 진행할 수 있는 방법을 이용하여, 일부 수치해석 연구를 통해서 임펠러 설계 변수에 따른 성능 특성을 파악하고자 한다.

이를 위해서 해수펌프용으로 설계된 심정용 사류펌프에 대하여 임펠러의 일부 형상을 변경시키면서 펌프 내부의 유동 해석을 수행하였다. 유동해석 결과로부터 양정, 동력 및 수력효율 등을 계산하여 펌프의 정량적인 특성을 파악하여 향후 펌프의 성능향상 방안을 도출하기 위한 자료로 활용하고자 한다.

## 2. 해수펌프 패키지

FPSO(Floating production storage and offloading, 부유식 원유생산저장하역설비)용 해수펌프 패키지는 FPSO에서 필요로 하는 용수를 공급하기 위한 시스템으로, 해수펌프 패키지의 주요 구성을 살펴보면 Fig. 2에 보이는 바와 같이 해수펌프, 체크밸브, 컨트롤밸브, 스트레이너 및 제어시스템 등으로 구성되어 있다.

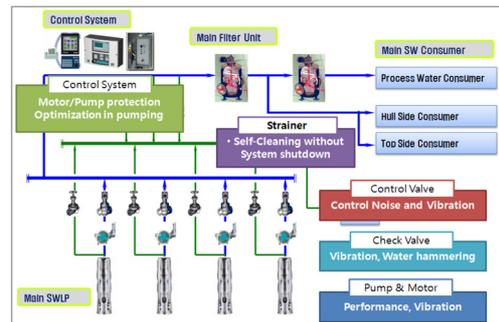


Fig. 2 Composition of seawater lift pump package

해수펌프 상단에 설치되는 체크밸브와 컨트롤밸브는 진동, 소음, 수충격 및 유량조절에 대응하기 위해 설치되며 스트레이너는 해수에 포함된 각종 오염물질을 제거하는 기능을 하며 제어시스템은 펌프를 중심으로 각 부품들이 해수펌프 패키지의 최적 운전이 가능하도록 제어하는 기능을 수행한다.

본 연구에서 해석하고자 하는 사류펌프는 Fig. 3에 보이는 바와 같이 구성되어 있다. 해수는 펌프 하단으로 유입되어 2단으로 구성된 임펠러와 디퓨저를 지나 FPSO에 공급된다. 전형적인 심정용 사류펌프는 임펠러, 디퓨저, 라이저, 축, 모터 등으로 구성되는데 모터가 펌프 임펠러의 아래쪽에 부착된다. 일반적으로 펌프의 성능은 각 구성요소의 성능에 따라 영향을 받는데, 펌프의 성능에 영향을 미치는 핵심 요소는 임펠러와 가이드 베인으로 이 부분을 통해서 임펠러의 기계적 에너지가 유체의 속도와 압력 에너지로 전환되기 때문이다.

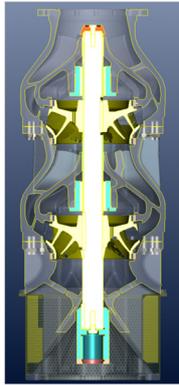


Fig. 3 Schematic view of mixed flow pump

### 3. 펌프 모델링 및 수치해석

#### 3.1 펌프 모델링

해수펌프용 사류펌프의 개발을 위한 선행연구로 본 연구에서는 상용 외산 해수펌프 중에서 본 연구에서 개발하고자 하는 펌프의 사양과 유사한 제품을 벤치마킹 모델로 선정하여 펌프 모델링과 수치해석을 통한 성능 예측을 진행하였다. 벤치마킹 펌프 모델을 이용한 펌프 설계는 Fig. 4에 보이는 순서로 진행하였는데, 분해된 펌프의 내부 형상을 3D 스캔하여 얻어진 CAD 도면을 이용하여 펌프 형상 모델링을 하였고 이후는 CFD 해석을 위한 일반적인 과정으로 진행하였다.

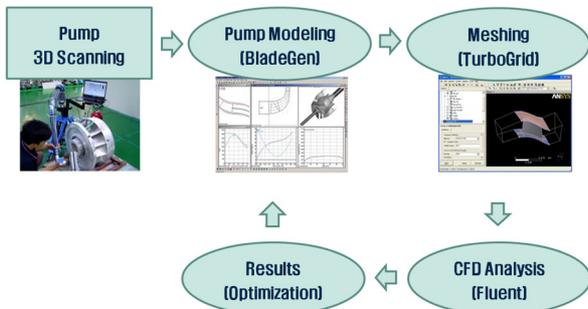


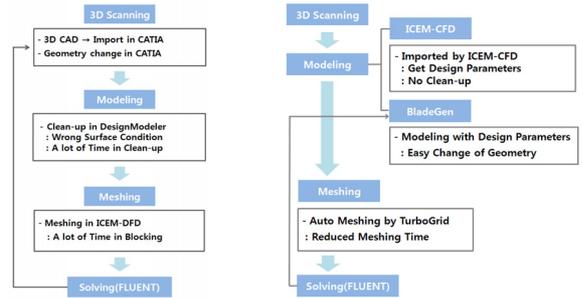
Fig. 4 Pump modeling and numerical analysis process

기존의 모델링 방법에서는 3D 스캔된 CAD 도면을 CATIA 파일로 변환하여 CATIA에서 형상 수정 작업을 진행하는데(Fig. 5(a) 참조), 이때는 모델의 형상에 관계된 정량적 수치를 알 수 없을 뿐만 아니라 형상 수정 작업이 복잡하고 난해하여 많은 시간이 소요된다. 즉, 펌프 형상을 3D 스캔을 통해서 얻기 때문에 형상에 대한 정확한 수치를 얻기 어려우며 모델링과 격자 생성 작업에 바로 사용하기에는 형상의 해상도가 부적합하여 추가적인 클린업 작업이 요구된다.

반면 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 Fig. 5(b)에 보이는 바와 같이 3D 스캔된 CAD 도면을 ANSYS의 ICEM-CFD 프로그램을 이용하여 좌표값을 추출하여 모델링하는 방법을 적용하였다. 물론 포인트마다 클릭하여 좌표값을 추출

하여야 하는 번거로움이 있지만 초기의 기준 모델을 한번만 정의하면 되기 때문에 클린업 작업을 통해 모델링과 격자 생성을 수행하는 작업에 비해 시간과 비용을 절감할 수 있다.

텍스트로 작성된 좌표값을 BladeGen으로 불러들여 형상 생성 작업을 진행하였는데, 좌표값을 불러들이면 자동으로 블레이드에 대한 유동장이 생성되기 때문에 형상 생성을 위한 추가적인 작업이 필요 없다. BladeGen에서는 블레이드 허브와 쉬라우드의 형상 각도를 용이하게 변경할 수 있으며, 생성된 형상은 TurboGrid를 이용하여 격자 작업을 진행하였다.



(a) Conventional method (b) Modified method

Fig. 5 Comparison of the modeling methods for pump blade

임펠러와 디퓨저를 포함한 사류펌프의 전체적인 형상과 허브, 쉬라우드, 블레이드 및 주 유동 영역을 Fig. 6에 도시하였다. 사류펌프는 그림에 보이는 바와 같이 2단으로 구성된 심정용 펌프로 해수는 출구 방향에 대해 수직으로 유입되어 2단으로 구성된 임펠러와 디퓨저를 지나면서 가압되어 FPSO에 공급된다.

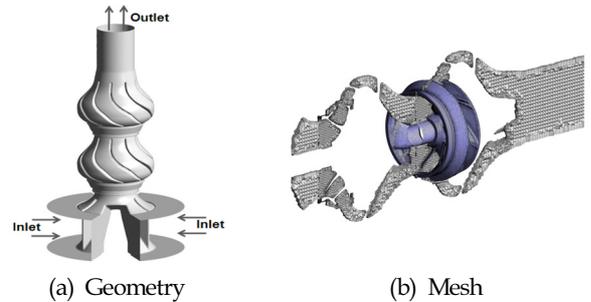


Fig. 6 Geometry and mesh of the mixed flow pump

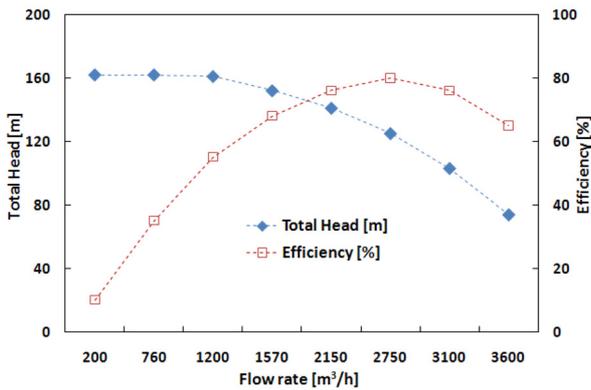
벤치마킹 모델 펌프의 1단 및 2단 임펠러는 동일한 형상으로 각각 7개의 블레이드와 9개의 디퓨저 날개로 구성되어 있으며 임펠러의 출구 직경은 350mm이다. 사류펌프의 설계 조건과 성능 곡선을 Table 1과 Fig. 7에 정리하였다. Table 1과 Fig. 7에 보이는 바와 같이 펌프는 회전수 1,750rpm에서 유량과 전압정은 각각 2,700m<sup>3</sup>/h, 120m이며 이때의 펌프 효율은 80 %를 발휘하는 것으로 조사되었다.

성능향상방안 검토연구에서는 양정에 큰 영향을 미치는 임펠러 블레이드의 출구각을 허브와 쉬라우드 부분에서 변화시키면서 펌프의 성능 특성을 고찰하였다. 즉, Table 2에 보이는 바와 같이 선행연구에서 설계된 펌프에 대해서 6가지 경우로 블레이드 출구

형상을 변경시켰다. 본 연구에서는 기존 연구자들의 연구 방법과 벤치마킹 펌프가 최적화 되어 있을 것으로 판단되어 좁은 범위에서 출구각을 변화시켰다.

**Table 1** Design specification of the benchmarking pump

Design volume flow rate [m <sup>3</sup> /h]	2,700
Rotational speed [rpm]	1,750
Total head [m]	120
Pump efficiency [%]	80
Specific speed	570



**Fig. 7** Performance curves of the benchmarking pump

**Table 2** Modified values of the impeller blade angle

	$\beta_{2h}$ (hub)	$\beta_{2s}$ (shroud)
Base	-	-
Case 1	-	+2°
Case 2	-	+4°
Case 3	+2°	-
Case 4	+4°	-
Case 5	+2°	+2°
Case 6	+4°	+4°

**3.2 수치해석**

본 연구에서는 2단으로 구성된 사류펌프 내부의 유동을 비압축성 난류유동으로 가정하여 유동해석을 수행하였으며 펌프 내부에서 일어나는 3차원 유동특성을 조사하기 위해서 유한체적법과 다중 블록 계산격자를 이용하여 수치해석을 수행하였다.

사류펌프 내부의 유로에 대한 계산 격자를 Fig. 6(b)와 Fig. 8에 도시하였다. 본 연구에서는 펌프 전체 유동장과 주기 조건(Periodic condition)을 이용해서 임펠러의 한 개 유로를 대상으로 계산하였으며, Tetra 격자와 Hexa 격자를 혼합하여 사용하였는데 Hexa 격자는 1단과 2단 펌프 사이의 링 간극 영역에서 주로 사용하였다.

펌프 전체를 계산한 경우 계산에 사용된 격자의 수는 약 800만

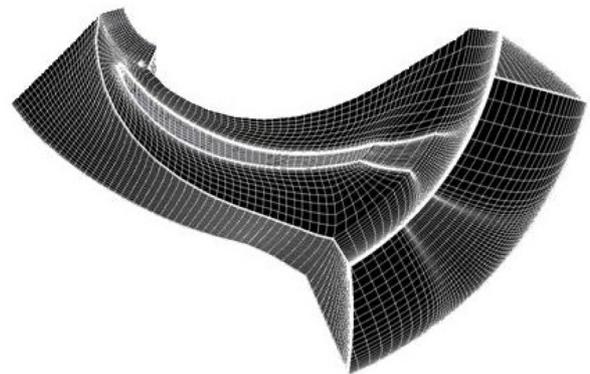
개였으며, 터보기계 전용 격자 생성기인 Turbo-grid를 사용하였다. 격자 의존성(Grid test) 검토 결과 총 격자수가 800만개인 경우 격자 절감 효과는 크게 나타나지 않았으며, 격자 절감 효과를 높이기 위해서는 펌프 모델 자체를 단순화 시키는 방법이 적절한 것으로 검토되었다.

계산의 수렴조건으로는 펌프 입·출구에서의 압력 차의 변화를 비교하여 판단하였다. 펌프 내부의 난류유동은 Standard  $k-\omega$  난류모델을 이용하여 해석하였으며, 지배방정식으로는 연속방정식과 Reynolds 평균 Navier-stokes 방정식을 이용하여 계산하였다.

본 계산의 경우 계산 영역 내부에 회전부와 정지부를 갖고 있으므로 MRF (Multiple reference frame) 기법을 적용하였다. 따라서 임펠러를 포함하는 회전부의 벽은 상대좌표계에서 정지된 벽으로 처리하였으며, 디퓨저를 나타내는 정지부의 벽은 절대좌표계에서 정지된 벽으로 취급하였다.

작동 유체는 물이며 밀도와 점도는 각각 998.2kg/m<sup>3</sup>, 0.001003 kg/m · s이며, 펌프 입구는 질량유량입구 조건으로 2,700m<sup>3</sup>/h의 유량 조건을 주었으며, 펌프 출구는 압력출구 조건으로 대기압 조건을 주었다. 사류펌프 내부의 작동유체는 해수를 대신하여 물로 가정하여 계산하였는데 검토 결과 밀도와 점도 등에서 약간의 물성치 차이가 존재하지만 전체적인 해석결과에 미치는 영향은 미미한 것으로 검토되었다.

성능향상 검토 연구로 임펠러만을 수치해석 하는 경우에는 정확한 성능을 확인하기 위해서 출구 후단부를 실제 디퓨저 형상과 동일한 형태로 처리하였으며, 임펠러의 유로 영역은 날개를 기준으로 동일한 형태를 갖고 있으므로 주기 조건을 적용하여 Fig. 8에 보이는 바와 같이 임펠러 날개 하나의 유동 영역에 대해서만 해석을 수행하였다. Hexahedrons 타입의 격자를 주로 사용하였으며, 계산에 사용된 격자수는 약 18만개였다.



**Fig. 8** Flow channel and meshes of the mixed flow pump (Periodic condition)

**4. 해석결과 및 고찰**

사류펌프 유동장의 수치해석은 앞에서 언급한 것처럼 펌프 전체의 유동장에 대해서 계산할 경우 약 800만 개의 격자가 생성되었고 따라서 128개의 CPU가 병렬로 연결된 시스템을 이용해서도 계산시간만 24시간 정도가 소요되었다. 이에 전체 유동

장 해석의 경우 설계유량인 2,700m<sup>3</sup>/h 한 케이스에 대한 해석 결과만 정리하였다.

해석 결과는 벤치마킹 모델 펌프의 설계 사양과 비교하였다. 먼저 설계유량에서 펌프 내부의 유동을 살펴보면(Fig. 9 and Fig. 10 참조), 펌프 입구를 통해서 흡입된 유체는 펌프의 1단 임펠러를 통과하면서 가속되지만 디퓨저를 통과하면서 속도가 감소하고 있으며, 다시 2단 임펠러로 유입되면서 가속되어 펌프의 출구로 원활하게 빠져나가는 것을 볼 수 있다. 유체가 1단 및 2단 임펠러를 통과하면서 유속은 증가, 감소가 반복되었다. 따라서 임펠러와 디퓨저를 포함한 유로 형상의 최적화를 통해서 유동 손실을 최소화하는 것이 펌프의 성능 향상에 매우 중요함을 확인할 수 있다.

유량 설계조건에서의 내부 유동장을 압력분포 형태로 살펴보면, Fig. 9(b)에 보이는 바와 같이 유체가 펌프 흡입구에서 1단 및 2단 펌프를 통과하면서 압력이 상승하여 2단 임펠러의 출구 부분에서는 펌프 입구를 기준으로 약 1.7MPa 이상 상승하였다. 반면 임펠러의 링 간극(0.5mm) 사이로 일부 압력손실이 발생하게 된다.

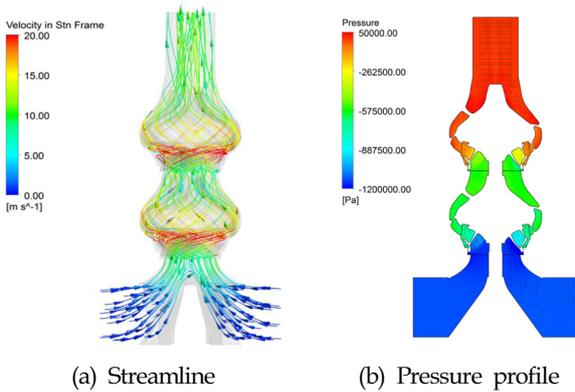


Fig. 9 Velocity and pressure profile in the mixed flow pump

실제 펌프를 제작하게 되면 임펠러의 링 간극의 크기가 펌프의 성능에 큰 영향을 미치게 되는데 진동과 편심 등의 문제로 링 간극의 최적화가 중요한 기술인 것으로 알려지고 있다. 따라서 수치해석을 통해서 계산된 펌프의 성능은 실제 펌프에 비해서 높게 나올 것으로 예상되므로 성능향상 연구 시 이 부분을 고려하여 성능향상 목표가 설정되어야 할 것이다.

2단 임펠러와 디퓨저에서 속도 벡터 분포를 살펴보면(Fig. 10 참조), 전체적으로 정체영역이나 재순환영역 없이 유동이 매끄럽게 흘러가는 것을 볼 수 있다. 펌프의 설계유량 전·후의 저유량 및 고유량 영역을 좀 더 살펴볼 필요가 있지만, 본 논문에서의 유량 조건에서는 임펠러 입구에서 최적 입사각이 어긋나거나 디퓨저의 최적화가 이루어지지 않는 이유로 유동의 불안정성이 발생되어 특정 영역에서 유동의 재순환이 발생하는 등의 문제는 없는 것으로 판단된다.

또한 작은 유량이긴 하지만 임펠러의 링 간극을 통해서 일부

유체가 빠른 속도로 빠져 나가는 것을 볼 수 있는데 계산 조건인 0.5mm의 링 간극에서는 펌프의 설계 성능이 만족되는 것으로 계산되었다. 하지만 링 간극이 커지게 되면 펌프의 성능이 급격하게 저하된다. 계산 초기에 실수로 두께 1cm의 임펠러 링을 빼고 계산을 하였는데, 양정이 72m로 계산되어 설계 양정의 60% 밖에 성능이 달성되지 못하는 것을 확인하였다.

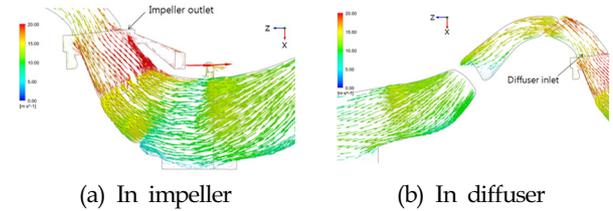


Fig. 10 Velocity profile in the 2nd impeller and diffuser flow channel

결과적으로 심정용 해수펌프의 설계 조건과 비교해서 수치해석을 통해서 도출된 사류펌프의 성능을 계산해 보면, 펌프의 설계유량 2,700m<sup>3</sup>/h 및 임펠러 회전수 1,750rpm 조건에서 펌프의 양정은 118.9m로 계산되었으며 토크는 1단 임펠러에서 3,045Nm, 2단 임펠러에서 2,924Nm로 계산되어 총 5,969Nm이었으며 이때의 소요 동력은 1,092kW로 계산되어 펌프의 효율은 79%인 것으로 예측되어 펌프의 설계 조건에 근접한 결과를 얻었다.

성능 향상방안 검토 결과로 임펠러 블레이드 출구의 허브와 쉬라우드 부분의 각도 변화에 따른 펌프의 성능 변화를 Table 3에 정리하였다. 계산 결과는 1단 임펠러에 대해서만 계산한 것이며 따라서 약간의 오차는 있지만 각 계산 결과의 2배가 앞부분에서 전체 펌프를 대상으로 계산한 결과와 일치한다. 주요 특징을 살펴보면, 기준 모델과 비교해서 블레이드 출구각의 허브와 쉬라우드 부분을 각각 최대 4°씩 증가시켰을 경우 양정은 약 3.1% 증가한 반면 토크는 4.7% 증가하는 것으로 계산되었다. 즉, 양정은 증가하지만 효율은 감소하게 된다.

블레이드 출구각의 변화에 따른 펌프 양정의 변화를 살펴보면 쉬라우드 보다는 허브 부분의 변화가 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 출구각의 변화가 가장 큰 Case 6의 경우에서 최대 토크가 발생하는데 이는 블레이드와 유체의 접촉면이 증가하면서 높은 토크가 발생하기 때문이다. 즉, 블레이드 출구 날개각 변화에 따라 양정은 증가하는 반면 토크 또한 증가하여 효율은 저하되는 것을 볼 수 있다. 이와 같이 단순히 블레이드의 출구 각도만을 변화시켜서는 원하는 결과를 얻을 수 없다. 따라서 기존 모델 펌프의 양정과 효율을 동시에 향상시키기 위해서는 기존 연구자들이 제안한 방법들을 포함해서 다양한 향상 방안의 검토 및 적용이 필요함을 알 수 있다. 임펠러 출구각 이외에 펌프의 성능에 영향을 미치는 주요 변수는 임펠러의 깃수 및 블레이드 길이 등이며 디퓨저에서는 J-그루브나 Stopper 링의 설치, 디퓨저 폭 변화 등이며 향후 연구에서 상기 주요 변수에 따른 성능특성 파악 연구를 진행해 나갈 계획이다.

**Table 3** Calculated results with modified impeller's blade angles

	Head (m)	Torque (Nm)
Base	58.95	402.3
Case 1	58.99	403.5
Case 2	58.96	404.3
Case 3	59.87	410.3
Case 4	60.67	417.9
Case 5	59.91	411.8
Case 6	60.78	421.4

## 5. 결 론

본 연구는 해양플랜트 기자재인 해수펌프 개발 연구의 일환으로 향후 성능 향상 연구를 효율적으로 진행할 수 있는 임펠러 모델링 방법 적용과 수치해석을 이용해서 모델링된 사류펌프 내부의 유동 해석을 수행하였다.

유동해석 결과로부터 펌프 내부의 유동 특성을 파악하였고 설계 유량에서의 양정, 소비동력 및 수력효율 등을 계산하여 펌프의 정량적인 특성을 파악하였으며 주요 결과를 정리하면 다음과 같다.

3D 스캔된 펌프의 CAD 도면을 이용해서 모델링 하는 방법으로 본 연구에서는 3D 스캔 도면을 ICEM-CFD 프로그램을 이용하여 형상 좌표값을 구할 수 있는 방법을 적용하여 블레이드 형상 변경 작업을 손쉽게 진행할 수 있도록 하였다.

펌프의 설계 조건에서 펌프의 성능 계산 결과와 이 비교를 통해서 신뢰성을 확인하였다. 블레이드 출구각의 변화에 따른 펌프 양정의 변화를 살펴보면 쉬라우드 부분 보다는 허브 부분의 변화가 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있으며, 단순히 블레이드의 출구 각도만을 변화시켜서는 원하는 결과를 얻을 수 없다. 본 연구를 기반으로 해서 향후 펌프의 양정과 효율을 동시에 향상시킬 수 있는 사류펌프 성능 향상 연구를 계속해서 진행할 계획이다.

## 후 기

본 연구는 한국지질자원연구원이 수행하고 있는 동남 광역경제권 선도산업 기술개발사업의 '심정용 해수 펌프 개발(11-9214)' 과제에서 지원되었습니다.

## 참 고 문 헌

- Asuaje, M., Bakir, F., Kouidri, S. and Rey, R. (2004). "Inverse Design Method for Centrifugal Impellers and Comparison with Numerical Simulation Tool", *International Journal of Computational Fluid Dynamics*, Vol 18, No 2, pp 101-107.
- Choi, Y.D., Kurokawa, J. and Lee, Y.H. (2007). "Performance Improvement of a Centrifugal Pump by Semi-closed Impeller and J-Groove", *Proceeding of the Fluid Machinery*, pp 293-296.
- Baun, D.O. and Flake, R.D. (2003). "Effects of Volute Design and Number of Impeller Blades on Lateral Impeller Forces and Hydraulic Performance", *International Journal of Rotating Machinery*, Vol 9, No 2, pp 145-152.
- Ha, P.S., Oh, S.Y., Chung, J.H., Noh, H.W. and Suh, S.H. (2010). "Performance Improvement of Francis with Low Efficiency by Inverse Design and CFD", *Spring Proceeding of the KSME Fluid Engineering Section*, pp 106-111.
- Kim, S., Choi, Y.S. and Lee, K.Y. (2009). "Blade Shape Design of Mixed-flow Pump Impellers and Diffusers In a Fixed Meridional Geometry", *Summer Proceeding of the SAREK*, pp 1203-1208.
- Lee, K.Y., Choi, Y.S. and Kim, J.H. (2008). "Design of Impeller and Diffuser for Mixed Flow Pump with Inverse Design Method", *Summer Proceeding of the SAREK*, pp. 1322-1325.
- Manivannan, A. (2010). "Computational fluid dynamics analysis of a mixed flow pump impeller", *International Journal of Engineering, Science and Technology*, Vol 2, No 6, pp 200-206.
- Oh, J.S. and Kim, D.S. (2001). "Impeller Redesign of Multi-stage Centrifugal Pumps", *Proceeding of the Fluid Machinery*, pp 177-184.

2011년 8월 4일 원고 접수

2011년 9월 21일 심사 완료

2011년 10월 17일 게재 확정