

워터제트의 임펠러 입구와 출구 각도에 따른 성능해석

강민규* · 박동진* · 강한빈* · 이석순**

Performance Analysis based on Impeller Inlet & Outlet Angle for Waterjet

Min-Kyu Kang* · Dong-Jin Park* · Han-Bin Kang* · Seok-Soon Lee**

ABSTRACT

The purpose of this study was to suggest 10 kinds of case and perform Mixed-flow pump optimum design and performance analysis depending on the shape of the impeller for suitable to water jet propulsion system. H₂O was applied to the material properties, to analysis conditions for water jet axial impeller 1000 rpm given analysis was performed. Interpretation for each case as a result of speed, pressure, flow rate, calculate the thrust at the Inlet Angle 30° and Outlet Angle 30° could see a persistence of optimal performance.

Key Words: Water Jet, Impeller, Diffuser, Thrust

1. 서 론

펌프의 토출유동에 의한 반작용을 추진력으로 이용하는 워터제트(Water Jet) 추진선박의 경우, 기존의 프로펠러 형식보다 가속능력, 조향 및 제동성능이 뛰어난 장점을 가지고 있다. 또한 워터제트 추진시스템은 회전수가 동일하다면 선속에 관계없이 일정한 동력을 흡수하기 때문에 과부하가 감소되어 평균 기계수명이 상대적으로 길다. 이러한 이유로 최근에 선박용 추진 장치로서 워터제트 시스템의 도입이 활발히 이루어지고 있다.[1]

터보기계 내의 유동구조는 대부분 복잡한 와

류유동의 지배 하에서 작동되며, 그로 인해 실제 실험을 통하여 내부 유동장에 대한 복잡한 삼차원 유동구조 및 특성을 파악하는 것은 거의 불가능 하다. 이러한 문제들로 인하여 전산유체역학(CFD)은 삼차원 유동구조를 파악하고 터보기계 내의 유동속도 및 압력분포 등을 예측할 수 있는 수단으로서 대두되어 왔다.

Kim 등[2]은 축류펌프의 내부유동에 대하여 삼차원 RANS(Reynolds-averaged Navier-Stokes)방정식을 이용한 수치해석을 통하여 계산결과를 실험결과와 비교하여 타당성을 입증하고 성능을 수치적으로 예측한 바 있다. Hwang 등[3]은 워터제트 추진용 사류펌프의 설계에 대하여 CFD 코드에 의한 해석결과를 통하여 최적설계, 성능 해석 및 제작을 하는데 있어서 기존의 산업용 사류펌프에 대한 설계제한조건을 제시하였다.

본 연구에서는 임펠러(Impeller)의 입구와 출구

†2011년 5월12일 접수 ~ 2011년 6월 8일 심사완료

* 학생회원, 경상대학교 기계공학과

** 정회원, 경상대학교 기계공학과
연락처, E-mail: leess@gsnu.ac.kr

각도에 따른 총 10가지의 케이스를 제시하고 워터제트 추진시스템에 적합한 사류형 펌프의 최적설계 및 성능해석을 수행하고자 한다.

2. 3차원 형상 설계

워터제트용 펌프의 3차원 형상설계를 수행하려면 기초형상자료(기본설계자료)가 제시되어야 하므로 Fig. 1과 같이 나타내었다. 기본설계를 통해 입·출구 날개각도, 펌프의 자오면에 대한 설계변수 등이 결정되어야 한다. 참고로 개념설계에 의해 결정되는 자오면상의 대표적인 설계변수들을 Fig. 3에 나타내었다. Figure 2는 실제 워터제트의 형상이고, 본 연구에서는 해석을 수행하기 위한 유동장을 설계하였다. 입·출구 각에 따라 각각 20°, 25°, 30°, 35°, 40°, 총 10개의 케이스에 대해 설계 변수를 고려하여 Fig. 4과 같이 CATIA V5로 3차원 형상 모델링을 하였다.

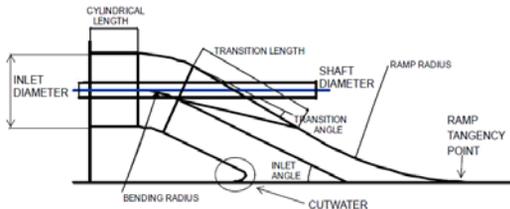


Fig. 1 Basic Design



Fig. 2 Water Jet

설계중점사항으로 임펠러 출구에서 나오는 유량이 디퓨저(Diffuser) 입구로 자연스럽게 유입될 수 있도록 최대한 간극을 줄였고, 디퓨저 입구부의 각을 임펠러 출구각과 동일하게 설계하였다.

전체 유동장은 Fig. 1을 참고하여 Fig. 5와 같이 나타내었다.

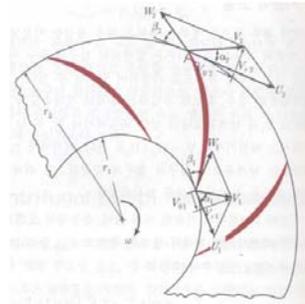


Fig. 3 Design Parameter

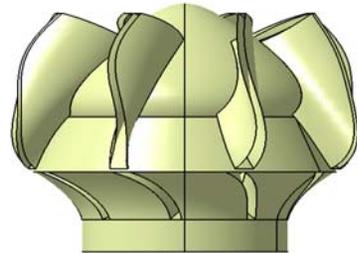


Fig. 4 Three-Dimensional Configuration

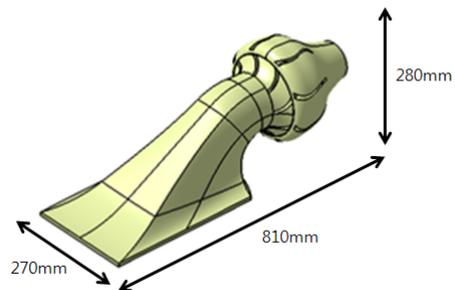


Fig. 5 Water Jet

3. 유동해석

3.1 유한요소 모델링

워터제트의 유동해석을 위한 유한요소는 Fig. 6과 같이 HyperMesh 10.0을 사용하여 생성하였다.

적용한 유한요소는 유동해석에 필요한 부피 격자를 생성하기 위해 하나의 요소에 절점이 3개인 2D 요소, S3R을 적용하여 사면체 격자를 생성하였다. 유한요소의 크기는 기존의 형상을 크게 벗어나지 않는 범위에서 설정을 하였으나, 임펠러는 유동의 변화가 크게 발생할 것이라 판단하고 요소의 크기를 상대적으로 조밀하게 설정하여 정확한 결과를 도출할 수 있도록 하였다.

유동해석에 필요한 부피 격자 생성을 위해 Fig. 7과 같이 상용 프로그램인 STAR-CCM+를 이용하여 다각형 격자를 생성하였다. 그리고 출구부의 유한요소를 토출되는 축 방향으로 신장시켜 해석의 수렴도를 높였다.

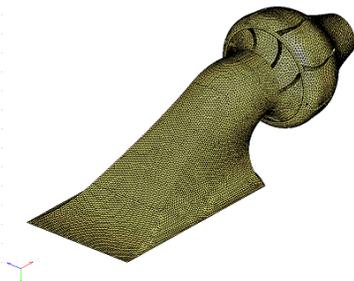


Fig. 6 Tetra Surface Mesh



Fig. 7 Polyhedral Mesh

적용한 유한요소는 유동해석에 필요한 부피 격자를 생성하기 위해 하나의 요소에 절점이 3개인 2D 요소, S3R을 적용하여 사면체 격자를 생성하였다. 유한요소의 크기는 기존의 형상을 크게 벗어나지 않는 범위에서 설정을 하였으나, 임펠러는 유동의 변화가 크게 발생할 것이라 판단하고 요소의 크기를 상대적으로 조밀하게 설정하여 정확한 결과를 도출할 수 있도록 하였다.

유동해석에 필요한 부피 격자 생성을 위해 Fig. 7과 같이 상용 프로그램인 STAR-CCM+를 이용하여 다각형 격자를 생성하였다. 그리고 출구부의 유한요소를 토출되는 축 방향으로 신장시켜 해석의 수렴도를 높였다.

3.2 재료 물성치

워터제트 유동해석에 적용된 재료는 전체 유동장에 대해 H₂O가 사용되었으며 재료에 대한 물성치는 Table 1.에서 나타내었다.

3.3 유동해석

워터제트의 경우, 임펠러의 입, 출구 각도에 따라 토출되는 추력이 달라지게 된다. 토출되는 추력은 아래의 식을 이용하여 계산하였다.

$$T_G = \dot{m} V_{Jet}$$

이때, T_G 는 추력, \dot{m} 은 토출 유량, V_{Jet} 는 노즐 속도를 의미한다. 따라서 유한요소해석을 통하여 유동조건에 의한 시뮬레이션을 수행하고 워터제트의 임펠러 최적 형상을 도출했다.

해석 모델에 대한 각 케이스의 입·출구부 형상은 같고, 임펠러의 형상에 따라 총 10개의 케이스를 아래의 Table 2에서 나타내었다.

Table 1. Material Properties

	Density (kg/m ³)	Kinematic Viscosity (Pa · s)
H ₂ O	997.561	8.8871E-04

Table 2. Analysis Case

Case	Inlet Angle	Outlet Angle
1	20°	20°
2	25°	
3	30°	
4	35°	
5	40°	
6	20°	20°
7		25°
8		30°
9		35°
10		40°

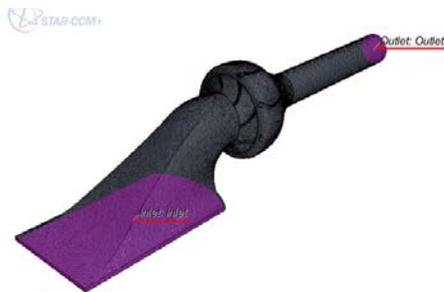


Fig. 8 Boundary Condition

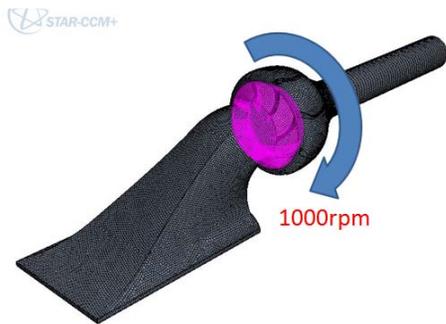


Fig. 9 Analysis Condition

워터젯의 유동해석을 수행하기 위한 경계조건은 STAR-CCM+에서 적용시켰다. 모든 해석케이스에서 Fig. 8과 같이 Inlet의 아래 부분과 Outlet의 오른쪽 끝부분을 각각 입·출구 영역으로 설정하였다. 유동조건은 비압축성 유체, 유동장벽면은 No-Slip으로 가정하였다.

3.4 해석 결과

일반적으로 유동해석의 수렴 판정은 각 축에 대한 모멘텀과 Tke, Tdr이 1E-04 이하로 떨어지면 수렴했다고 본다. 해석에 대한 수렴정도는 Fig. 10에서 나타내었고, 연속성을 제외한 모든 값들이 1E-04이하로 떨어져 해석이 수렴했음을 나타내고 있다.

유동해석결과로 Fig. 11은 Total Pressure 결과이다. 임펠러에서 나오는 유체영역에서 최대 압력은 28.138 kPa 만큼 발생하였고, Fig. 12는 속도 결과로서 최대 속도는 임펠러에서 나오는 유체영역에서 11.419 m/s 만큼 발생하였다.

Table 3.에서 각 케이스에 대한 속력, 압력, 유량, 추력을 계산한 결과를 나타내었다. 속력과 압력은 토출부에서의 단위면적 당 평균으로 계산하였다.

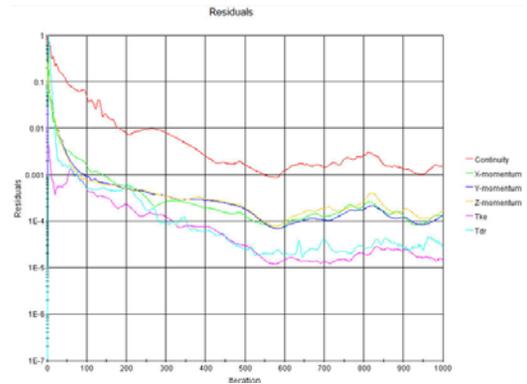


Fig. 10 Residuals

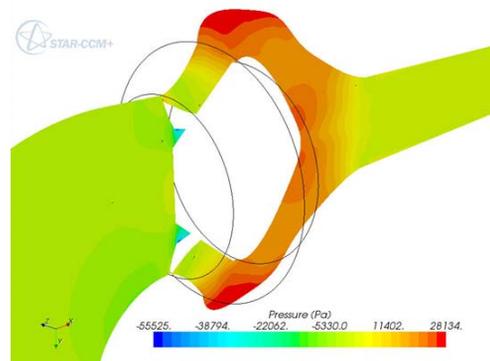


Fig. 11 Pressure

Table 3. Result

Case	Velocity (m/s)	Pressure (kPa)	Mass Flow (kg/s)	Thrust (N)
1	5.6841	22.414	5.053E+02	2872.269461
2	5.7515	24.473	5.113E+02	2940.789975
3	6.0039	22.763	5.337E+02	3204.561872
4	5.7193	21.538	5.084E+02	2907.953892
5	5.7213	20.334	5.086E+02	2909.988031
6	6.2114	27.713	5.525E+02	3433.208418
7	6.4267	25.557	5.713E+02	3671.78984
8	6.7713	24.256	6.020E+02	4076.109778
9	6.5311	28.149	5.806E+02	3792.053255
10	5.6601	20.334	5.032E+02	2848.065476

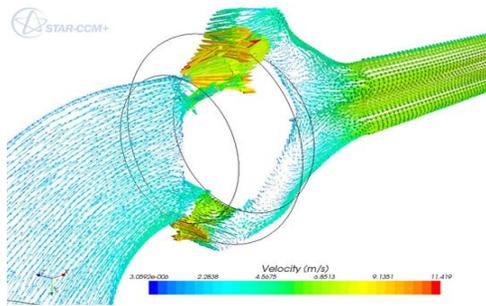


Fig. 12 Velocity

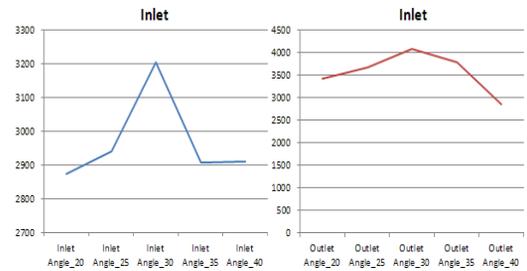


Fig. 15 Thrust (N)

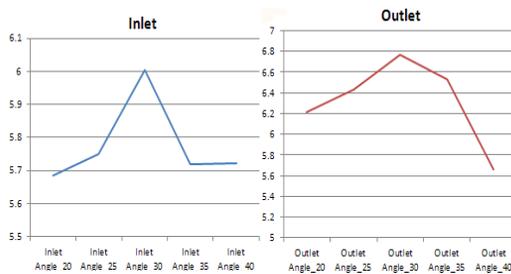


Fig. 13 Velocity (m/s)

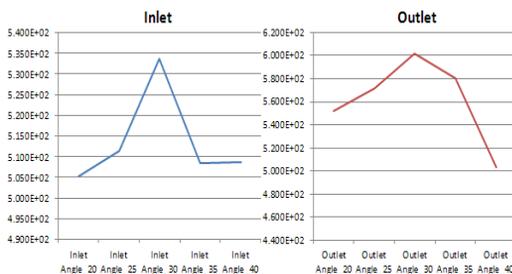


Fig. 14 Mass Flow (kg/s)

추력을 계산하여 분석한 결과 입구 각도와 출구 각도 모두 30°에서 최적의 성능이 나타남을 알 수 있었다. Table 3.의 결과 값을 바탕으로 Fig. 13 ~ Fig. 15과 같이 그래프로 나타내었다.

4. 결론

해석 결과는 모든 케이스에서 수렴도가 1E-04 이하로 떨어져 유동 환경에 대한 워터제트의 현재 설계 상태는 타당하다고 볼 수 있다.

추력을 계산한 결과 워터제트의 최대정적추력인 5782 N의 범위 내로 만족하였다.

최대 추력을 갖는 입구 각 30°와 출구 각 30°에서 최적의 성능을 낼 것이라 판단되었다.

참고문헌

- [1] 윤의수, 오형우, 안종우, “워터제트 선박추진용 사류펌프의 설계 및 성능해석”, 유체기계공업학회 유체기계저널, 제 6권, 제 2호, 2003, pp. 41-46.
- [2] 김민환, 김종인, 박진석, “전산유체해석을 이용한 축류펌프의 성능예측”, 한국전산유체공학회지, 제 6권, 제 1호, 2001, pp. 14-20.
- [3] 황순찬, 윤의수, 오형우, 최범석, 박무룡, 안종우, “Waterjet 선박추진용 사류펌프의 설계 및 성능해석”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, 2002, pp. 47-53.