

유체의 점도변화가 펌프성능에 미치는 영향

조민태* · 서상호* · 김동주** · 성순경***

Effect of Fluid Viscosity Changes on Pump Performances

Mintae Cho*, Sangho Suh*, Dongjoo Kim**, Sunkyung Sung***

Key Words: Centrifugal Pump(원심펌프), Pump Performance(펌프성능), CFD(전산유체역학), Fluid Viscosity Changes(유체점도변화)

ABSTRACT

In order to analyse the effect of the fluid viscosity changes on the centrifugal pump, the computer simulation method and the performance correction chart are used. The centrifugal pump is designed using the traditional method, and the 3D computational grid is generated for the impeller and casing. Working fluids are water, high viscous oil and muddy water. The viscosity of muddy water is measured by the unsteady capillary tube viscometer. The pump performances are predicted well through the computer simulation. The performance curves of head and efficiency for oil and muddy water are decreased. The torques of oil and muddy water, which is calculated by performance correction chart are predicted at a lower value than the computer simulation.

1. 서 론

물용 원심펌프는 정밀한 설계를 하지 않아도 필요한 성능을 얻어낼 수 있어 국내의 많은 업체에서 생산되고 있는 펌프이다. 원심펌프는 산업현장에서 많은 에너지를 소모하고 있는 펌프이므로 높은 효율의 펌프를 생산하기 위해 많은 실험과 해석을 통해 기술을 축적해야 한다. 그러나, 국내에서는 펌프업체의 영세성으로 인하여 연구개발에 대한 투자가 이루어지지 않는 것이 현실이다. 또한, 원심펌프는 다른 유체기계에 비하여 생산단가가 낮아 연구개발에 대한 현실적인 투자의 어려움이 많다. 유체기계의 성능을 높이기 위한 노력이 여러 방법으로 이루어지고 있지만, 수치해석의

발전으로 최근에는 많은 연구개발과 성능향상에 수치해석적 방법이 이용되고 있다. 그러나, 원심펌프를 수치적으로 해석하는 경우 아직까지 임펠러와 케이싱을 동시에 해석하는 사례는 찾아보기 어렵다.

산업현장에서 펌프로 양수하는 액체는 흙탕물, 오수, 폐수, 펄프 등과 같이 비뉴턴유체가 많다. 그러나, 펌프 성능시험은 작동유체의 종류에 관계없이 청수로 시험한 뒤 규격상의 수정방법으로 환산하여 비뉴턴유체에 대한 펌프성능특성을 파악하고 있다^(1,2). 비뉴턴유체는 유동특성에 따라 점도가 변하는 성질을 가지고 있으며, 실제 설치되어 운전되는 펌프가 비뉴턴유체를 양수할 때는 시험할 때와는 다른 성능을 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 물, 고점도의 기름, 비뉴턴유체의 특성을 나타내는 것으로 알려진 흙탕물에 대하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 현재 산업체에서 가장 많이 설치되어 사용되고 있는 원심펌프의 성능특성의 변화를 연구하고자 하였다. 흙탕물에 대한 점도특성은 비정상 모세

* 숭실대학교 기계공학과

** 내외산업주식회사

*** 경원전문대학교 건축설비과

관점도계 및 cone/plate 점도계를 이용하여 구하고, 흙탕물의 전단을 변화에 따른 점도변화로부터 무한전단율에서의 점도를 도출하였다. 원심펌프의 형상으로부터 컴퓨터 시뮬레이션하기 위한 모델을 제작하고 물과 흙탕물 그리고, 임의의 고점도기름을 가정하여 성능특성변화를 고찰하였다.

2. 원심펌프 설계

본 논문에서 적용한 원심펌프는 설계유량 및 양정이 각각 $0.7 \text{ m}^3/\text{min}$, 30 m 인 소형펌프로써 산업체에서 사용하고 있는 기존의 설계방법에 의하여 Fig. 1과 같

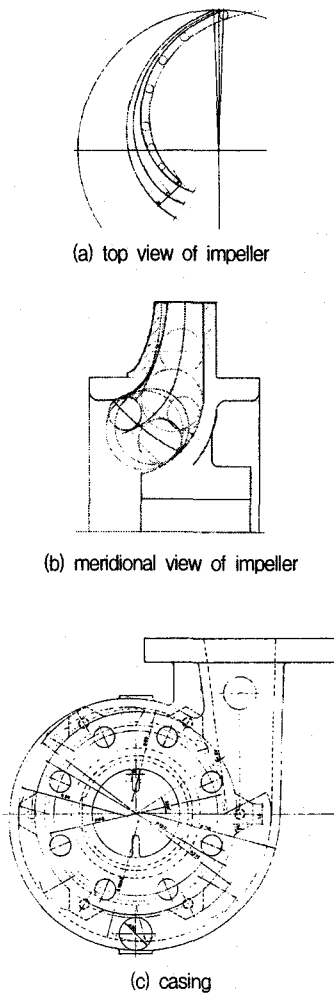


Fig. 1 Designed pump for numerical analysis

이 설계하였다. 설계된 임펠러의 크기는 입구직경 40 mm , 출구직경 70 mm , 출구폭 13 mm 이며, 펌프의 입구와 출구의 직경은 각각 80 mm , 65 mm 이다.

3. 작동유체의 점도 측정

본 논문에서 적용한 작동유체는 상온에서의 물, 흙탕물, 그리고 수정계수를 사용하여 구하기 위한 기름이다. 흙탕물은 실제로 물에 미세한 흙의 입자들이 부유되어 있는 2상유체(two phase fluid)이며 비뉴턴유체의 거동을 한다. 부유되어 있는 입자가 균질하게 분포되어 있을 때 이 흙탕물의 점도는 입자의 중량비 또는 체적비를 이용하여 경험적인 식에 의해 결정될 수 있다. 본 연구에서는 25 w\% 의 흙탕물을 제작하고 비정상 모세관점도계⁽³⁾와 cone/plate 점도계를 사용하여 Fig. 2와 같이 점도를 측정하였다.

측정된 점도로부터 수치해석에 사용될 흙탕물의 점도를 무한 전단율(infinite shear rate viscosity)인 $0.005 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 로 정하였다. 이때 흙탕물의 밀도는 측정을 통하여 1148.8 kg/m^3 로 하였다. 기름은 비중 0.9 에 점도가 물보다 100 배 높은 경우를 가정하여 KS규격에 명시된 방법으로 성능특성을 구하고 수치해석 결과와 비교하였다⁽¹⁾.

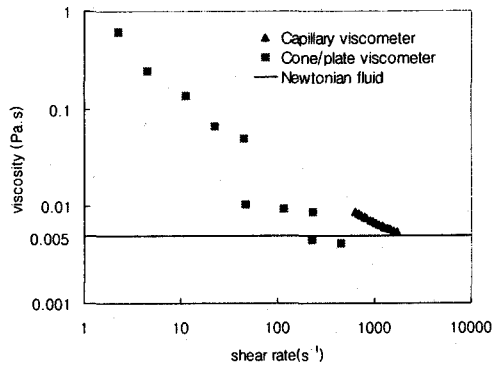


Fig. 2 Viscosity versus shear rate for 25w% muddy water

4. 유동 해석

점도변화에 따른 원심펌프의 성능변화를 해석하기 위하여 TASCflow를 사용하였다.

본 연구에 적용된 지배방정식은 식 (1)~(3)과 같다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \mu_{eff} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right\} + S_{ui} \quad (2)$$

$$\vec{S}_u = -2\vec{\Omega} \times \vec{U} - \vec{\Omega} \times (\vec{\Omega} \times \vec{r}) \quad (3)$$

여기서, u_i 는 속도벡터이고, ρ 는 밀도, μ_{eff} 는 유효점성계수(effective viscosity)이며, p 는 정압이다. 식 (3)은 유동장의 회전에 의해 발생하는 코리올리힘과 원심력에 의한 효과를 생성항으로 처리하기 위하여 주어졌다. 이 식에서 $\vec{\Omega}$ 는 회전속도벡터이고, \vec{r} 은 위치벡터이다.

수치해석을 위한 격자계는 Fig. 3과 같이 형성하였으며, 난류모델은 표준 $k-\epsilon$ 모델을 적용하였다. 임펠러의 회전에 의한 유동특성을 해석하기 위하여 회전하는 임펠러와 회전하지 않는 케이싱을 동시에 계산하기 위한 기법인 multi frame of referance를 사용하였다. 이 기법은 전체 유동장을 회전하는 영역과 회전하지 않는 영역으로 나누어 각각의 영역에 대하여 계산을 수행하며, 임펠러 출구에서의 결과를 케이싱 입구에서의 입구조건으로 적용하여 유동장을 계산하는 방법이다.

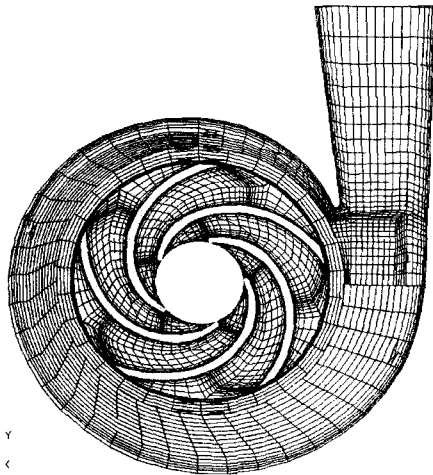


Fig. 3 Grid system for the centrifugal pump

5. 결과 및 검토

청수와 고점도의 기름을 사용하여 컴퓨터시뮬레이션으로 구한 결과와 KS규격에 명시된 방법에 의하여 구한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서 H, L, η 는 청수를 사용하여 구한 양정, 축동력, 효율이며, H_c , η_c , L_c 는 고점도의 기름을 사용하였을 때의 결과이다. 컴퓨터시뮬레이션으로 구한 결과에서 청수의 효율은 최대 85%의 높은 효율을 나타내고 있는데, 이러한 결과는 실제 소형펌프의 최대효율에 비하여 2배에 가까운 값으로서 펌프에서 발생하는 손실을 무시한 결과로 이해된다. 청수의 효율곡선은 설계유량에서 최대값을 나타내며 잘 알려진 실험결과들과 유사한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 고점도의 기름이 사용될 경우에 대한 결과는 유량이 감소하면서 효율이 전체적으로 수치해석 결과에 비하여 약 40%가량 감소하였다. 양정은 수치해석 결과에 비하여 전체적으로 약 5% 감소하였다. 이러한 결과는 고점도 액체의 원심펌프 시험 자료와 유사한 결과를 보여주고 있다. 축동력은 수치해석 결과에 비하여 성능수정선도를 통해 환산된 결과가 더 낮게 나타난다. 이것은 통상적으로 점도가 높은 액체를 양수할 때는 동력이 증가한다는 사실과는 다르게 나타났다. 본 계산 결과는 KS규격에서 사용하고 있는 동력계산식의 계수의 적용에 문제가 있을 가능성과, 수치해석 결과에서 예측된 동력이 크게 계산되었을 가능성이 있을 것으로 생각하고 계속될 연구에서 이를 명확하게 밝히고자 한다.

Fig. 5는 청수와 고점도 기름에 대하여 수치해석을 통해 얻은 결과를 보여주고 있다. 청수에 비하여 고점도 기름의 결과는 유량과 양정이 모두 약 5% 감소된 결과를 나타낸다. 고점도 기름에 대하여 수치해석으로 구한 양정은 성능수정선도를 통해 얻은 결과와 유사하다. 고점도 기름에 대하여 수치해석으로 구한 동력은 청수를 사용한 경우와 유사한 결과를 보여주고 있다.

Fig. 6은 청수를 사용하여 수치해석으로 구한 경우와 흙탕물을 뉴턴유체로 가정하고 성능수정선도를 사용하여 구한 결과를 보여주고 있다. 성능수정선도를 사용하여 구한 효율은 청수를 사용한 결과에 비하여 전체 유량에 대하여 약 5%가량 감소한 결과를 보여주고 있다. 고점도의 기름에 비하여 성능의 감소폭이 작은 것은 흙탕물의 점도가 기름에 비하여 작은 값이기 때문에 효율의 감소폭이 작게 추정되었다. 흙탕물을 사용한 경우의 양정은 청수를 사용한 경우와 유사한

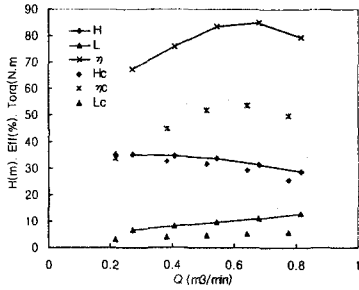


Fig. 4 Performance curves for the centrifugal pump with water and oil.

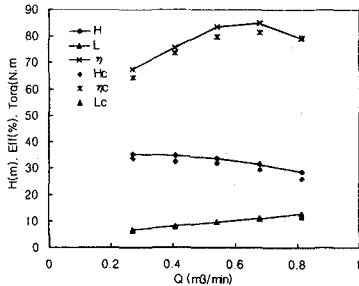


Fig. 5 Performance curves for the centrifugal pump with water and oil.

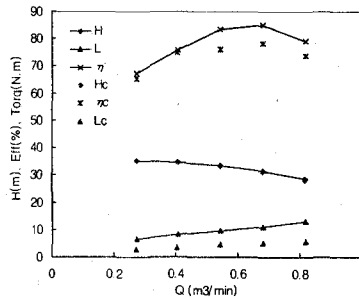


Fig. 6 Performance curves for the centrifugal pump with water and muddy water.

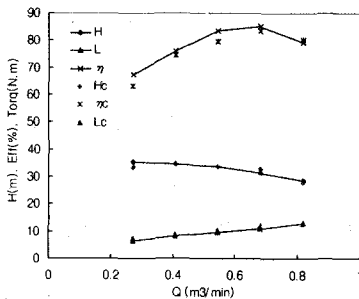


Fig. 7 Performance curves for the centrifugal pump with water and muddy water.

결과를 보여주고 있는데, 이러한 결과는 흙탕물의 비중량이 물에 비하여 약 15%가량 크기 때문에 점도에 의한 감소와 상쇄되어 나타난 것으로 판단된다. 잘 알려진 비중량의 변화에 대한 축동력의 변화는 비중량의 비에 비례하는 것이지만, 성능수정선도를 사용하여 구한 흙탕물의 동력은 기름의 경우와 같이 물보다 감소한 결과를 보여주고 있다.

Fig. 7은 청수와 흙탕물의 물성치를 사용하여 수치해석으로 구한 결과를 보여주고 있다. 펌프효율의 변화는 흙탕물이 청수에 비하여 전체 유량에 걸쳐 약 3%가량 감소한 결과를 보여주고 있으며, 이것은 성능수정선도를 사용하여 구한 결과와 유사하다. 수치해석에 의해 계산된 양정은 물과 흙탕물이 큰 변화를 보이지 않고 있으며, 성능수정선도를 사용하여 구한 결과와도 유사하다. 점도에 대한 양정감소효과와 흙탕물의 밀도에 의한 상승효과가 결합되어 나타난 것으로 판단된다. 그러나, 흙탕물에 대하여 수치해석으로 구한 동력은 물에 비하여 약 5%가량 증가하였다.

6. 결론

유체의 점도변화가 있을 때 수치해석 및 성능수정선도를 통해 원심펌프의 성능변화를 살펴보았다. 수치해석을 통하여 펌프의 성능특성을 예측할 수 있었다. 고점도 기름에 대한 펌프성능 변화를 수정선도를 사용하여 구하면, 수치해석의 결과에 비하여 양정, 효율 및 동력이 감소한 값을 얻는다. 수치해석을 사용하면, 양정은 수정선도의 결과와 유사한 값을 얻을 수 있다. 흙탕물에 대한 펌프성능 가운데 효율과 양정은 수정선도와 수치해석을 사용한 경우 유사한 결과를 얻었다. 그러나, 동력은 수치해석을 사용한 결과가 수정선도를 사용한 결과보다 높았다.

참고 문헌

- (1) KS B 6306, 1995, 기름용 원심펌프의 시험 검사 방법, 한국공업표준협회.
- (2) ポンプ便覧, 6 ed., 1986, 株式会社西島製作所, pp. 54~56.
- (3) 서상호, 조민태, 유상신, 2000, "모세관내 비정상유동 개념을 이용한 비뉴턴유체 및 혈액의 점도측정", 한국유체공학학술대회, pp. 487~490.