

고점성용 펌프의 성능해석

노형운* · 서상호* · 김동주**

Pump Performance Analyses with High Viscosity Fluids

Hyung-Woon Roh*, Sang-Ho Suh*, Dong-Joo Kim** and Young-Dae Kim***

Key Words : High Viscous Fluid(고점성 액체), Pump Performance Characteristic(펌프 성능 특성), Aqueous Sugar Solution(설탕 수용액), Glycerin Solution(글리세린 수용액)

ABSTRACT

In this study the effects of fluid viscosity on the pump performances of a conventional centrifugal pump were experimentally studied. The study aimed to compare the pump characteristics for water and high viscosity fluids. The Working fluids are water, aqueous sugar solution and glycerin solution. The pump characteristics of total head and efficiency with high viscosity fluids were different. The performance curves of efficiency for the sugar and glycerin solutions were decreased up to 8.1% and 12.9% than that of water.

1. 서 론

물용 원심펌프는 국내의 대부분의 제조업체에서 생산하고 있듯이 정밀한 설계를 하지 않아도 필요한 성능을 만족시킬 수 있다. 원심펌프는 산업현장에서 많은 에너지를 사용하고 있는 펌프이므로 높은 효율의 펌프를 생산하기 위해 많은 실험과 해석적 연구를 통해 기술을 축적해야 한다. 그러나 국내에서는 펌프업체의 영세성으로 인하여 연구개발에 대한 투자가 원활하지 못한 것이 현실이다. 원심펌프는 다른 유체기에 비하여 생산단가가 낮아 연구개발에 대한 현실적인 투자의 어려움이 많다.

산업현장에서 펌프로 양수하는 액체는 흙탕물, 오수, 폐수, 펄프 등과 같이 고점성유체가 많지만 현실적인 문제로 인하여 펌프성능해석은 청수를 사용한다.

고점성유체의 펌프성능시험은 작동유체의 종류에 관계없이 청수로 시험한 뒤 HI 규격상의 수정방법으로

* 숭실대학교 기계공학과

** NP&B

E-mail : rohlee@yahoo.com

환산하여 고점성유체에 대한 펌프성능특성을 파악하고 있다^(1,2). 그러나 적용된 유체마다 펌프성능특성이 달라 지므로 정확히 규격을 적용하기에는 무리가 있다.

따라서 본 연구에서는 점성이 다른 세 유체 즉, 물, 설탕물과 글리세린에 대하여 성능실험을 수행하여 고점성유체를 이송하는 원심펌프의 성능특성의 변화를 연구하고자 하였다.

2. 점성계수에 의한 펌프 특성의 변화

원심펌프로 고점성유체를 수송할 경우에는 액체의 점성계수가 증가함에 따라 원판 마찰손실이 많아질 뿐만 아니라, 임펠러 및 케이싱내 유체 마찰손실도 증가한다. 이 원판 마찰손실에 의하여 축동력은 많아지고 유로의 마찰손실로 펌프의 전양정은 감소하기 때문에 펌프 효율은 당연히 저하된다. Stepanoff의 연구에 따라 원심펌프를 사용한 기름의 성능실험 결과 일반적인 경향을 정리한다면 대략 다음과 같다⁽³⁾.

(i) 회전속도를 변경하여 실험하면 어떠한 점성계수 일지라도 펌프의 상사법칙은 일단 성립하나, 청수의

경우만큼 정확하지는 않다. 즉 회전속도를 변경하면 토출량은 속도의 변화에 비례하고 양정은 대략 속도의 2제곱에 비례하여 변한다. 축동력은 속도가 빨라지면 속도의 2제곱에 비례하여 변한다. 축동력은 속도가 빨라지면 속도의 3제곱에 비례한 값보다는 약간 적은 값을 나타내고 있으며, 펌프효율은 속도가 빨라질수록 좋아지는 경향이 있는 듯하다. 또 회전속도를 여러 가지로 변경하였을 때의 각 최고 효율에서의 비속도는 대략 일정한 값을 가지고 있다.

(ii) 일정 회전속도에 있어서는 점성계수가 증가함에 따라 토출량, 양정은 감소하나 다른 점성계수의 용액에 대한 최고 효율점에서의 비속도의 값은 대략 일정한 값을 보이고 있다. 지금 일정 회전속도 N 으로 펌프를 작동시켜 다른 점성계수를 가진 두가지 작동유체에 관하여 실험하였을 때 각각의 최고 효율점에 있어서의 토출량과 양정을 Q_1, H_1 및 Q_2, H_2 로 하면 비속도 N_s 에 대하여서도 근사값으로 계산할 수 있다.

$$N_s = N \frac{Q_1^{1/2}}{H_1^{3/4}} = N \frac{Q_2^{1/2}}{H_2^{3/4}} \quad (1)$$

여기에서 작동유체의 토출량과 양정사이에는

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{H_2}{H_1} \right)^{3/2}$$

의 관계가 성립하고 이 관계식은 어떤 유체의 실험결과와 점성계수가 다른 유체의 펌프성능을 추정할 경우에 매우 중요한 식이 된다.

(iii) 회전속도는 일정하게 하고 액체의 점성계수를 변경하였을 때 점성계수가 높아짐에 따라서, 양정이 감소하나 차단양정은 변하지 않는다. 따라서 점성계수가 높아짐에 따라서 유량-양정곡선은 구배가 급해진다.

(iv) 유체의 점성계수의 증가에 따른 펌프 축동력의 증가 비율은 꽤 넓은 유량의 범위에 걸쳐 대략 같은 양만큼 더하고 있는 것으로 보아, 이 축동력의 증가는 유체의 점성계수에 의한 임펠러의 원판 마찰손실의 증가에 기인하는 것이라는 것을 알 수 있다.

3. 작동유체의 점성계수와 비중 측정

본 연구에서 적용한 작동유체는 상온에서의 물, 설탕물, 그리고 글리세린이다. 설탕물과 글리세린 수용액도 쉽게 구할 수 있는 유체로서 비뉴턴유체의 특성을 고려하기 전에 고점성의 효과를 살펴볼 수 있는 유체들이다. 본 연구에서는 10%~30 w%의 설탕물과 글리세린을 만들어 cone/plate 점도계를 사용하여 점성계수를 측정하였다. 또한, 점성계수뿐만 아니라 비중 또한 중요한 인자이다. 비중은 비중계를 이용하여 측정하였다⁽⁴⁾.

4. 실험

고점성유체의 펌프특성을 실험하기 위하여 선정한 펌프는 Table 1에 제시된 바와 같으며, 성능시험은 Fig. 1과 같은 실험장치를 이용하여 수행하였다. 실험을 위한 상류와 하류의 배관은 각각 흡입 및 송출구경의 4배가 되는 직관을 설치하여 물의 흐름을 안정되게 하였으며 플랜지측면으로부터 구경의 2배되는 지점에 압력측정용 구멍을 뚫고 부르동관식 압력계와 진공계를 평면에 대해 수직으로 설치하였다. 정확한 유량을 측정하기 위해서는 오리피스나 노즐과 같은 차압식 유량계를 이용하여야 한다.

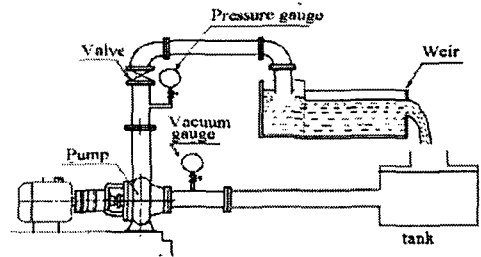


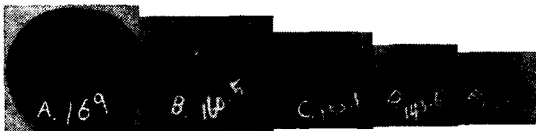
Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus

Table 1 Specification of the applied pump and motor

Specification		Value
pump	Capacity	0.12 m ³ /min
	Head	11.5 m
	Inlet diameter	150 mm
	Impeller diameter	169 mm
Motor	Power	0.75 kW
	Voltage	380 V (3 φ)
	Pole	4
	Frequency	60 Hz

하수처리장 등과 같이 산업현장에서 많이 취급되는 흙탕물은 침전이 있기 때문에 위어를 사용하여 유량을 정확히 측정하기 어렵다. 그러나 흙탕물이나 설탕물과 같은 고점성유체를 사용할 때 정확한 오리피스와 노즐 유량계의 유량계수를 구하는 것도 또 하나의 연구과제이다. 따라서 본 연구에서는 송출유량을 측정하기 위하여 일반적으로 펌프실험에서 많이 사용되고 있는 직각삼각위어(v-notch weir)를 이용하였다.

본 연구에서는 고점성 유체를 사용할 때 넓은 유량 범위에서 펌프의 성능특성을 파악하기 위하여 임펠러 컷팅을 통한 방법을 채택하여 유량의 범위를 넓게 실험하였다. 컷팅된 임펠러는 Fig. 2와 같고, 절단비율은 각각 5%, 10%, 15%, 20%이다. 실험시 펌프에서 임펠러를 교체하는 방법으로 송출량의 변화에 따른 전압정, 축동력, 펌프의 효율, 흡입양정 그리고 송출양정을 측정하였다. 펌프의 성능시험은 KS B 6301 원심펌프, 사류펌프 및 축류펌프의 시험 및 검사방법과 KS B 6302 펌프 송출유량 측정방식에 의하여 상온에서 수행하였다. 송출부에 부착된 밸브를 차단상태에서부터 밸브를 단계적으로 개방하면서 차단점으로부터 각각의 송출유량에 대한 송출압력과 흡입압력, 축동력 및 회전수를 측정하였다.



(a) 0% (b) 5% (c) 10% (d) 15% (e) 20%
Fig. 2 Photos of the used impellers

5. 결과 및 검토

고점성유체의 펌프성능특성변화를 살펴보기 위하여 Fig. 3과 같이 유량에 따른 청수, 설탕물(10w%), 글리세린(10w%)의 양정, 동력, 효율을 나타내었다. Fig. 3에서 청수인 경우 Table 1에 나타난 제작사(D사)의 최대효율에서 제시된 정격양정(11.5m)과 정격유량(0.12 m³/min)과 비교하여 볼 때 11.3m와 0.117m³/min로서 거의 유사하게 나온 것으로 판단된다. 이로부터 본 실험결과의 타당성을 검토하였다. 2장에서도 설명하였듯이 고점성액체를 이용하여 실험할 시 여러 가지 방법이 있지만 본 실험은 회전속도를 일정하게 하는 경우이다. 점성계수가 다른 유체를 실험할 경우 Stepanoff

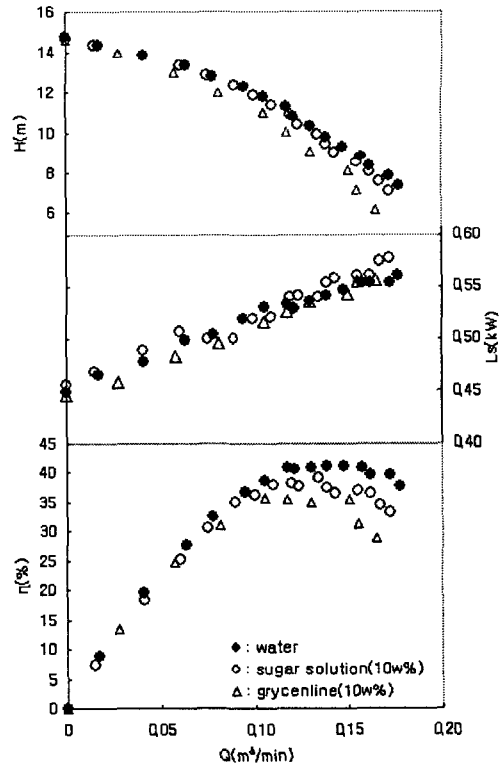


Fig. 3 H-Q, η -Q, and L_p -Q relationships for different high viscosity fluids

는 점성계수가 높아짐에 따라 차단양정은 변하지 않지만 유량이 증가함에 따라 양정이 감소하면서 그 유량-양정곡선은 구배가 급해진다고 하였다. 이러한 결과는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 Stepanoff의 결과와 정성적인 경향이 일치함을 알 수 있었다.

Fig. 3에서 볼 수 있듯이 차단양정에서 양정이 비슷하게 나온 이유는 토출밸브가 잠겨져 있으므로 펌프는 액체를 수송하려고 하는 압력만 작용하기 때문에 유동의 영향이 없기 때문이다. 그러나 이때 각 유체마다 작용하는 압력은 적용된 유체의 비중만큼 크게 작용하고 있음을 알 수 있다. 이때 설탕물 10w%와 글리세린 10w%의 비중은 각각 1.036과 1.023으로서 각 토출압력($H_0 = p_d/\gamma$)으로 나누어주기 때문에 동일해진다. 유량이 증가함에 따라 각 유체의 양정은 감소하기 시작한다. 감소 폭은 점성계수가 클수록 더 심하게 나타나는데 이러한 경향은 Fig. 3에서 볼 수 있다. 이때 적용된 설탕물 10w%의 점성계수는 1.23cP, 글리세린 10w%의 점성계수는 1.3cP로서 물보다 각각 23%, 30% 정도 큼을 알 수 있었다. 즉 정격유량인 0.117 m³/min

에서 유체(점성계수)에 따라 97.3%와 89.1%의 보정 값이 필요함을 알 수 있다.

고점성유체에 관한 펌프성능을 해석할 시 양정만 고려하는 것이 아니라 동력 또한 고려해야 할 인자이다. Fig. 3의 가운데에 있는 동력곡선을 살펴보았을 때 유체에 따라 커다란 동력의 차이가 없음을 알 수 있다. 즉, 적용된 유체의 점성변화와 비중변화의 폭이 비교적 작기 때문이라 판단된다.

그러나 점성계수의 차이가 큰 경우에는 유체의 점성계수 증가에 따른 펌프 축동력의 증가 비율이 유량의 범위에 걸쳐 같은 폭으로 증가한다. 이런 축동력의 증가는 유체 점성계수에 의한 임펠러의 원판 마찰손실의 증가에 기인하는 것이라는 것을 알 수 있다.

양정과 동력의 차이로 인한 결과는 Fig. 3의 아래 그림처럼 효율에서 차이를 나타내고 있음을 알 수 있다. 축동력을 계산할 때 펌프효율과 모터 역률은 각각 0.75와 0.7로 하였다. 점성계수가 커짐에 따라 효율이 감소하는 이유는 양정이 크게 감소하였고, 축동력의 작은 변화로 인함이다. 유량이 증가하면서 유량의 1/3의 지점까지는 효율이 큰 차이는 없지만 유량이 증가함에 따라 점성계수의 증가 즉 임펠러의 마찰손실의 증가로 인하여 효율이 떨어지기 시작하여 정격점에서 청수, 10w%의 설탕물, 10w%의 글리세린의 효율이 각각 40.7%, 37.5%, 35.5%로써 청수값보다 91.9%와 87.1%의 보정값이 필요하다.

대유량의 고점성유체를 제작하기가 어려운 실험적인 제약으로 대형펌프를 적용하지 못하였고, 넓은 범위의 유량에서 고점성유체를 사용하는 펌프성능특성을 살펴보기 위하여 Fig. 2와 같이 임펠러 커팅한 펌프를 사용하여 Fig. 4와 같이 유량범위에 따른 점성계수의 영향을 살펴보았다. 지면상 모든 유체의 결과를 다 나타내지는 못하였고 Fig. 4의 그림은 절단비가 10%일 때와 설탕물 10w% 수용액의 H-Q, Lw-Q, η -Q인 펌프성능 특성을 나타낸 것이다. 적은 유량의 경우에도 Fig. 3과 같은 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

6. 결론

고점성유체를 사용할 때 달라지는 펌프의 특성곡선을 살펴보기 위한 기초실험으로써 얻은 결과는 다음과 같다.

회전속도를 일정하게 하고 점성계수가 다른 유체를 실험한 경우 점성계수가 높아짐에 따라 차단양정은 변하지 않지만 유량이 증가함에 따라 양정이 감소하면

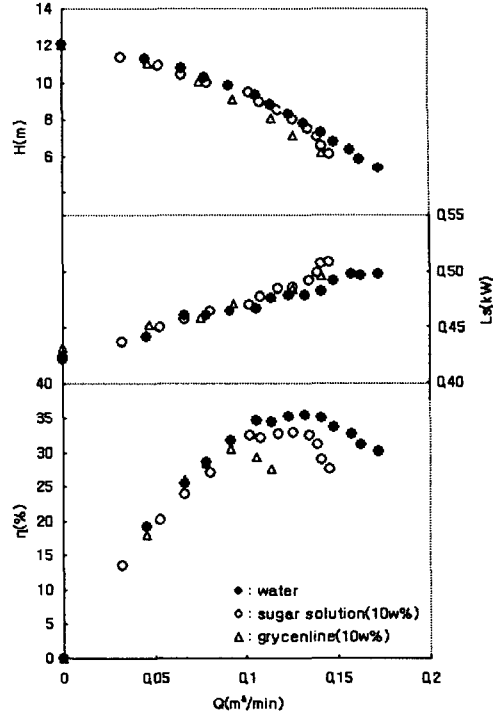


Fig. 4 H-Q, η -Q, and Lp-Q relationships for different high viscosity fluid with impeller cutting pump(10%)

서 그 유량-양정곡선은 구배가 급해짐을 확인하였다. 또한 이에 따른 동력 또한 원판마찰손실로 인하여 증가하기 때문에 효율은 점성계수가 증가함에 따라 감소하였고 청수에 따른 보정값이 91.9%와 87.1%만큼 필요하였다. 임펠러를 커팅하여 정격양정과 정격유량에서 실험한 경우에도 고점성유체의 펌프성능 특성의 변화폭은 유사하였다.

후기

이 연구는 숭실대학교 2003년 교내학술연구비 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌

- (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) 김진섭 역 4판, 1988 화학기계용 펌프, 성안당
- (4) 서상호, 조민태, 유상신, 2000, "모세관내 비정상유동 개념을 이용한 비뉴턴유체 및 혈액의 점도측정", 한국유체공학학회, pp. 487~490.