

고압실 형상에 따른 환형 제트펌프의 특성

김명관* · 권오봉**

The Effect of High Pressure Chamber's Shape on the Characteristics of Annular Jet Pump

Myung Gwan Kim*, Oh Boong Kwon**

Key Words: Annular Jet Pump(환형 제트 펌프), Head(수두)

ABSTRACT

Experimental studies on the characteristics of annular jet pump were carried out in this paper. The effects of high pressure chamber on the characteristics of annular jet pump were sought in this paper. Experiments were done for three shapes of high pressure chamber, and for several lengths of the high pressure chamber. Three types of the high pressure chamber's entrances(90° single inflow, 45° single inflow, and 45° double inflow) were tested. Water was used for both the primary fluid and secondary fluid.

The results obtained in this study are as follows: 45° double inflow type is the most effective among the tested three types of the high pressure chamber's entrances. The efficiency of jet pump with 400mm of high pressure chamber length is the highest among the chamber lengths tested in this study, thus indicating appropriate chamber length is required to get an efficient jet pump.

기 호 설 명

A : 단면적
 D : 지름
 h : 양정
 H : 전 수두
 L : 길이
 R : 면적비 (A_j / A_d)
 M : 유량비
 N : 수두비
 p : 압력

Q : 유량
 V : 유속

그리스 문자

η : 효율
 α : 흡입관 입구 각도
 β : 벤츄리 입출구 각도
 γ : 확대관 각도

아래첨자

j : jet
 d : delivery

* 부경대학교 대학원

** 부경대학교 기계공학부

- s : suction
- i : inlet
- o : outlet

1. 서론

제트펌프는 효율면에서 일반 펌프보다 저효율을 보임에도 불구하고 많이 사용하고 있다. 그 이유로, 움직이는 기계적 부분이 없고, 구조가 매우 간단하며, 작동이 쉬운 관계로 장소에 구애를 받지 않는 이식성과 운전상의 신뢰도가 높은 점을 들 수 있다. 또한 일반 펌프가 유체에 국한되어 있는 반면, 광범위한 응용이 가능하므로 수력발전소의 비상배수와 원자로용수 순환펌프, 그리고 선박에서 스트립핑(striping)용, 빌지(bilge) 배출용, 조수기(tide gage)의 브라인(brine) 및 공기 배출용, 공산품 건조공정용, 비등형 경수로의 노심 내 냉각수 재 순환용, 압축공기나 액체를 이용한 고형물(분말, 슬러리) 이송용, 농산물의 세척, 껍질 제거용, 이상 유체 혼합용 등으로 널리 이용되고 있다.

미국, 일본을 비롯한 유럽 등의 선진국에선 물고기를 이송하는 수단으로 이미 상용화로 접근한 것으로 보고되고 있다^{(1),(2)}. 하지만, 국내에선 수입에 의존하는 경향이 있으며 이 분야에 관한 이론적, 실험적 자료도 미비할 뿐만 아니라, 개량하고 연구해야 할 과제가 속제로 남아 있다. 최근에는 국내에서도 연구가 진행되어 권 등은 환형의 제트 펌프에서 제트두께와 제트길이에 따른 특성, 축소각의 변화, 혼합실의 목 직경의 변화에 따른 특성, 다중노즐을 이용한 제트펌프의 특성 등을 연구를 하였다.^{(3),(4)}

제트 펌프는 중앙분사형과 환형 분사형의 두 종류가 있으며, 환형 분사형 제트 펌프(annular-drive jet pump)는 구동 유체가 외주에 있고 흡입 유체가 중심부에 있어 분사되는 외주 면적에 비해 흡입관 면적을 비교적 크게 할 수 있어 흡입관으로 물과 비교적 큰 고형 물질을 함께 이송시킬 수 있는 장점이 있다.⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾

반면 중앙 분사형 제트 펌프(center-drive jet pump)는 구동 유체가 중심부에 있는 노즐을 통해 분사되고, 흡입유체는 외주에서 흡입되는 구조로 제트부의 형상에 따른 제약이 있으므로 비교적 큰 고형물질의 흡입은 불가능하다. Fig. 1에는 환형 분사형 제트 펌프의 개념도가 도시 되어있다.

제트 펌프는 고압의 높은 에너지를 가진 구동 유체(primary fluid), 즉 기체, 액체, 증기를 A에서 혼합실

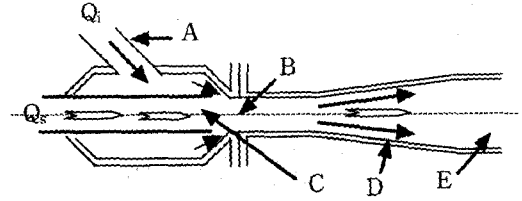


Fig. 1 Concept of annular-drive jet pump

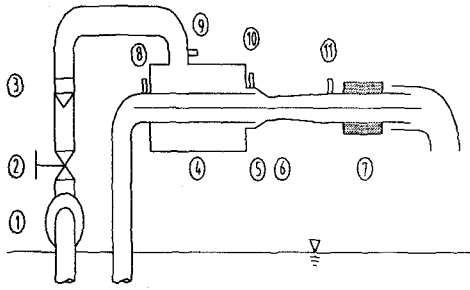
B 내로 분출시키면, 흡입관 C 내의 저압유체를 흡입하고 확대관 D에서 속도를 감소시키고, 여기서 속도 에너지를 압력에너지로 변환시킨 후 분출관으로 송출하는 펌프이다.⁽⁸⁾ 가동기계부분이 전연 없고, 구조가 간단하여 고장도 적으며, 취급이 편리한 점에서 오수(汚水), 이수(泥水)를 취급하는 수로(水路), 지하공사 등의 양·배수(揚·排水)라든지, 고형물의 수송 장치로서 사용된다. 그러나 혼합실 내에서 노즐로부터 분사되는 고속유체와 흡입관에서의 저속유체가 혼합 충돌할 때의 손실은 극히 크므로 효율은 나쁘다.^{(9),(10)}

본 논문은 어류나 기타 고형물의 이송에 적합한 환형 제트 펌프에서 성능을 높이기 위한 방법으로 고압실 입구 수 및 입구 각도에 따른 특성, 고압실 길이에 따른 특성을 연구하였고, 실험 데이터는 고효율 제트 펌프 설계의 기반을 만들고자 한다.

2. 실험

2.1 실험장치

본 연구에 사용된 실험 장치가 Fig. 2에 나타나 있다. 원심 펌프 ①에서 송출되는 구동 유체(primary fluid)는 유량조절밸브 ②를 지나 플로우트(float)형 유량계 ③을 거쳐 고압실 ④로 흘러가며 중심부에 있는 흡입관 주위의 환형 제트부 ⑤를 통하여 분사된다. 고속으로 분사된 구동 유체에 의하여 중심부는 저압이 되고 흡입관을 통하여 올라온 흡입 유체는 혼합실 ⑥에서 서로 혼합되고 디퓨저(diffuser)에서 압력을 회복한 후, 토출관을 통하여 수조로 되돌아가게 된다. 흡입관, 고압실 입구, 환형 제트부 및 토출관에서의 압력 P_s, P_i, P_j, P_d 는 압력변환기로 측정된다. 또, 펌프에서



- | | |
|-------------------------------|------------------------------|
| 1.centrifugal pump | 7.electro-magnetic flowmeter |
| 2.gate valve | 8.pressure tap (suction) |
| 3.float type flowmeter | 9.pressure tap (inlet) |
| 4.high pressure chamber | 10.pressure tap (jet) |
| 5.nozzle | 11.pressure tap (delivery) |
| 6.mixing chamber and diffuser | |

Fig. 2 Test Apparatus

공급되는 유량(Q_i)는 플로우트형 유량계에 의해 측정되어지고, 토출유량 (Q_d)는 마그네틱 유량계에 의해 측정하였다. 흡입 유량 (Q_s)는 토출 유량 (Q_d)와 고압실 입구유량 (Q_i)의 차로써 구해진다.

여기서 s, i, j, d 의 유량 Q 에서 각각의 단면적 A 를 나누어 속도 V_s, V_i, V_j, V_d 를 구할 수 있다.

2.2 실험방법

본 실험에서 사용된 펌프의 용량은 7.5마력이며, 흡입관, 고압실 및 토출관은 내부 유동에 대한 관찰이 용이하게 이루어질 수 있도록 투명 아크릴 수지관으로 이루어져 있으며, 상온의 물이 구동 유체와 흡입 유체로 사용되었다. 혼합실의 축소각, 목 부분의 직경과 길이, 디퓨저의 각은 축소관 24° , 확대관 6° 로 하였고, 토출관의 직경은 $55mm$ 이다.^{(3),(4)}

Fig. 3에는 실험에 사용된 제트펌프의 주요 형상 및 치수를 상세히 보여 주고 있으며, 특히 고압실 입구수, 입구각도 및 고압실 길이 등을 보여주고 있다.

Fig. 4는 고압실 입구수 및 입구각도를 나타내고 있으며, (a)는 90° 의 각도로 구동유체를 한쪽방향에서 주입하는 경우, (b)는 45° 의 각도로 구동유체를 한쪽방향에서 주입하는 경우 및 (c)는 45° 의 각도로 구동유체를 양쪽방향에서 주입하는 경우의 3 종류의 고압실을 제작하여 고압실의 형태에 따른 환형 제트펌프의

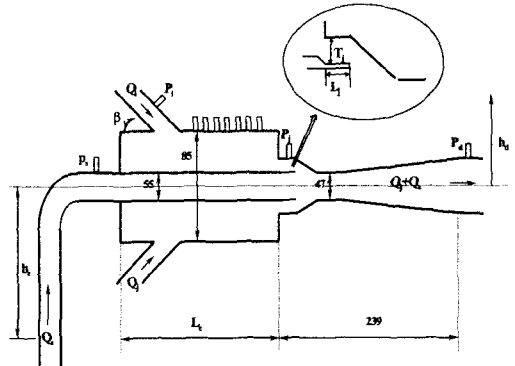


Fig. 3 Configuration and dimension

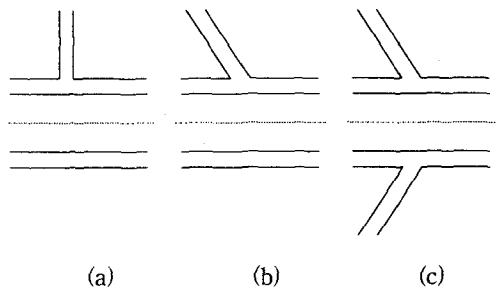


Fig. 4 Detail of high pressure chamber's entrance type (a) single inflow(90°) (b) single inflow(45°) (c) double inflow(45°)

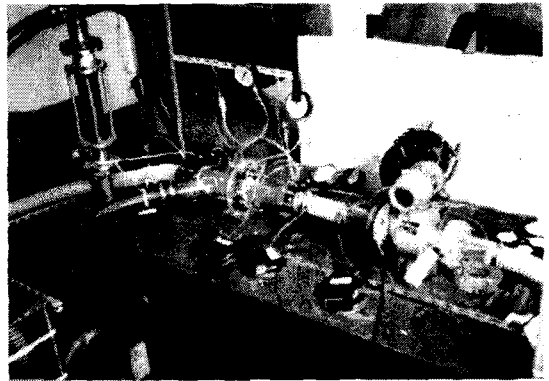


Photo. 1 View of the test apparatus

특성을 연구했다.

또 고압실(high pressure chamber)의 길이 즉, Fig. 3의 (L_c)를 200mm, 400mm, 610mm, 860mm로 변경하면서 고압실 길이와 제트펌프의 성능과의 관계를 알아 보았다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 실험 데이터의 계산

실험에 의해 측정된 흡입관, 고압실 입구, 환형 제트 부 출구 및 토출관에서의 압력, 속도, 위치를 베르누이 방정식을 이용하여 전 수두로 나타내면 다음과 같다.⁽¹¹⁾

$$H_s = \frac{p_s}{\rho g} + \frac{V_s^2}{2g} + z_s \quad (1)$$

$$H_i = \frac{p_i}{\rho g} + \frac{V_i^2}{2g} + z_i \quad (2)$$

$$H_j = \frac{p_j}{\rho g} + \frac{V_j^2}{2g} + z_j \quad (3)$$

$$H_d = \frac{p_d}{\rho g} + \frac{V_d^2}{2g} + z_d \quad (4)$$

제트부에서의 전수두(H_j)를 기준으로 한 수두비, 유량비, 효율은 환형 제트 펌프 전체의 효율로 사용하기에는 문제점이 있다고 보여진다. 제트의 두께가 얇고 길이가 길어지는 경우에는 그 곳에서의 마찰에 의해 발생하는 에너지 손실이 상당히 크게 나타난다. 이는 환형 제트부에서의 압력 에너지가 속도 에너지로 바뀔 때 제트부의 형상 조건에 따라 상당한 에너지 소모가 뒤따르게 되는데 이를 무시하고 제트 펌프의 효율을 구하게 되면, 제트부에서의 전 수두(H_j)를 기준으로 한 효율(η_j)이 대단히 좋은 결과가 나온 경우에도 원심 펌프에서 공급되는 총 에너지(H_i)가 증가하게 되어 효율 계산에서의 모순점이 발생한다. 환형 제트부 이후의 관로에 대한 최적의 형상 조건을 구하는데는 제트부에서의 효율(η_j)과 (η_i)는 구별 없이 사용될 수 있지만 η_j 를 사용하여 제트 펌프의 효율을 구하게 될 때는 우수한 성능을 가진 최적의 환형 제트부의 형상 뿐만 아니라, 제트펌프의 전체적인 효율을 구하는데 오류를 범할 가능성이 큰 것으로 판단되어 본 논문에서는 제트부분에서의 효율을 무시하고, 효율은 고압실 입구에서의 전수두(H_i)를 기준으로 한 수두비(N_i)와 효율 η 를 다음과 같이 정의하기도 한다.

$$N_i = \frac{H_d - H_s}{H_i - H_d} \quad (5)$$

Table 1. Experiment conditions

| | |
|------------------|---------|
| 제트 두께 (T_j) | 4.5 mm |
| 제트 길이 (L_j) | 10 mm |
| 고압실 길이 (L_c) | 610 mm |
| 흡입 양정 (h_s) | -450 mm |
| 토출 양정 (h_d) | 0 mm |

$$\eta = \frac{\rho g Q_s (H_d - H_s)}{\rho g Q_i (H_i - H_d)} = M N_i \quad (6)$$

여기서 M 은 흡입유량과 고압실 입구유량과의 유량비를 나타내며 다음과 같이 정의된다.

$$M = \frac{Q_s}{Q_i} \quad (7)$$

3.2 고압실 입구 수 및 입구 각도에 따른 특성

제트펌프의 성능에 상당한 영향을 미치는 혼합실의 형상 외에 고압실의 형상에도 제트펌프의 성능에 상당한 영향이 있을 것으로 판단된다. 입구에서 공급된 유량이 제트부에 도달할 때까지의 형상 손실, 마찰의 손실 등을 줄이면서 또한 얼마나 일정한 압력으로 제트부까지 도달하느냐에 따라 제트펌프의 효율에 어느 정도 영향을 미칠 수 있을 것으로 본다.

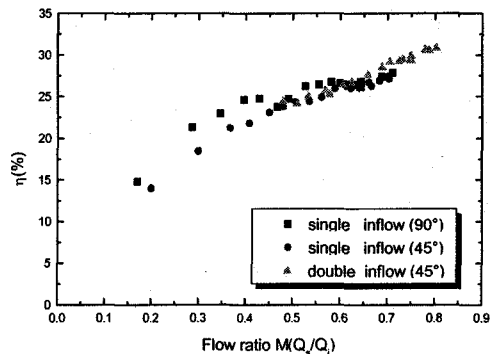


Fig. 5 Efficiency - flow ratio curves with various values of entrance angle and inflow type

따라서, 이들 효과를 알아보기 위하여 Table 1의 실험 조건을 적용하여 Fig. 4에서 보듯이 수직 단입사, 45° 단입사 및 45° 양입사의 3 가지 경우에 대하여 성능 실험을 하였다.

Fig. 5에 고압실 입구 각도 및 입구 수의 변화에 따른 유량비(M)와 효율(η)과의 관계를 나타내었다. 유량비가 증가하면서 효율 또한 완만한 상승을 나타내고 있으며, 45° 양입사인 경우 유량비도 상당히 크고, 많은 유량비에서의 효율도 높게 나타나고 있다. 이것은 고압실내에서의 유동이 상당히 안정적이라는 것을 말해주고 있다.

3.3 고압실 내의 유동형태

Fig. 6에 고압실에 설치된 압력공의 위치를 도시하였다. 고압실의 좌측면을 기준으로 해서 우측으로 150mm되는 곳에서 시작하여 150mm, 250mm, 350mm, 450mm, 490mm, 530mm, 570mm인 곳에 압력공을 시계 방향으로 90° 간격으로 28곳에 설치하여 각각의 위치에서 압력을 측정하였다.

Fig. 7의 90° 단입사 경우, 제트 유량 20m³/h, 25m³/h 일 때의 고압실 내부에서의 압력 분포를 나타내고 있다. 고압수의 입구 근처에서 상하, 좌우의 압력 편차가 비교적 크게 나타났고, 입구에서 멀어질수록 그 편차가 점차 작아지는 경향을 보이고 있어, 고압실 우측 끝 부분에 위치한 노즐에서 균일한 제트가 분사되기 위해서는 어느 정도의 고압실 길이가 필요할 것으로 판단된다. 큰 유량(25m³/h)을 얻기 위하여서는 보다 큰 압력이 요구되며, 이에 따라 더 큰 압력 편차를 보여 주고 있다. 입구관을 45°로 경사시켜 고압실 내부에서 어떠한 압력 변화를 나타내는지를 실험한 결과, 90° 단입사인 경우와 마찬가지로 고압실의 입구 쪽에서 상하, 좌우의 압력 편차가 비교적 크게 나타났고, 입구에서 멀어질수록 그 편차가 점점 작아지는 경향을 보이고 있다.

단입사인 경우의 압력 편차를 줄이기 위하여 구동 유체가 양쪽에서 입사하게 설계하였다. 양입사의 경우에는 단입사 경우와는 달리 입구에서의 압력 편차가 작으며 입구에서부터 안정된 유동 상태를 나타내고 있어, 고압실 길이를 비교적 짧게 할 수 있으며, 따라서 마찰 손실을 줄임으로서 효율의 상승이 예상된다.

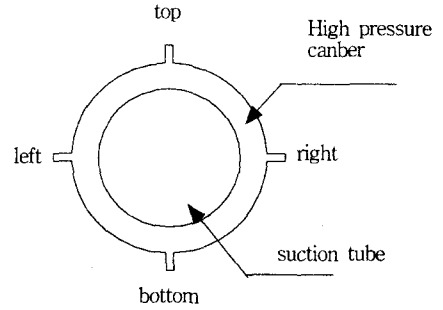


Fig. 6 Pressure taps on the high pressure chamber

3.4 고압실 길이에 따른 특성

고압실과 고압실 입구부 사이의 각도에 대한 이전 실험에서 입구부 형태를 45° 양입사로 설계함으로써 효율의 상당한 증가를 가져 왔다. 그래서 45° 양입사인 경우, 고압실의 길이에 따른 제트펌프의 성능을 알아 볼 필요가 있다.

고압수가 고압실에 들어와서 원주방향으로 평형을 이루어 균일한 압력분포를 나타내게 하기 위해서는 고압실의 길이를 어느 정도 적당한 길이를 가지게 하여야 하며, 그에 따른 제트펌프의 성능은 달라지게 된다.

Table 1의 실험 조건을 그대로 적용하였다. 다만 고압실의 길이를 200mm, 400mm, 610mm, 860mm로 제작하여 제트 펌프의 성능실험을 행하였고, 그에 따른 효율을 그래프로 도시하였다.

Fig. 8은 유량비(M)와 효율(η)과의 관계 곡선이다. 유량비가 증가할수록 효율은 전반적으로 상승하고 있으며, 고압실의 길이가 400mm일 때 가장 높은 효율을 나타내고 있고, 860mm에서 효율이 가장 낮으며, 200mm, 610mm는 거의 비슷한 효율을 보이고 있다. 여기서, 고압실 길이가 200mm인 경우가 400mm보다 효율이 낮게 나타난 것에 주목할 필요가 있다. 이것은 고압실 길이를 짧게 함으로서 마찰 손실의 감소로 인한 효율이 높게 나타날 수도 있지만, 200mm에서는 고압실 내부의 유동이 원주방향으로 아직 평형을 이루지 않아, 이와 같은 불평형이 제트펌프의 효율에 영향을 미칠 것으로 추정된다. 400mm부근에서는 마찰 손실을 감안하더라도 유동의 안정에 의한 효율이 상당히 상승한 것으로 보인다. 즉, 유동의 안정을 위해서는 어느 정도의 고압실 길이가 필요하다는 것을 나타내고 있다.

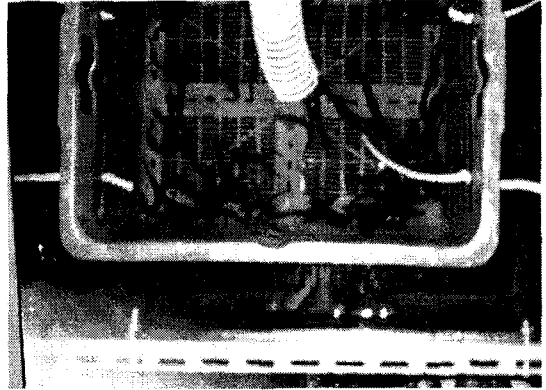
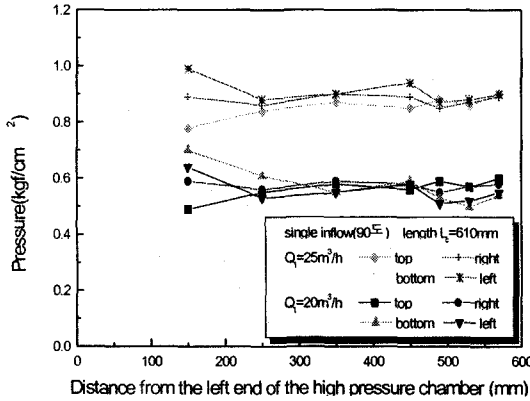


Photo 2 Suction, transfer and delivery live fish

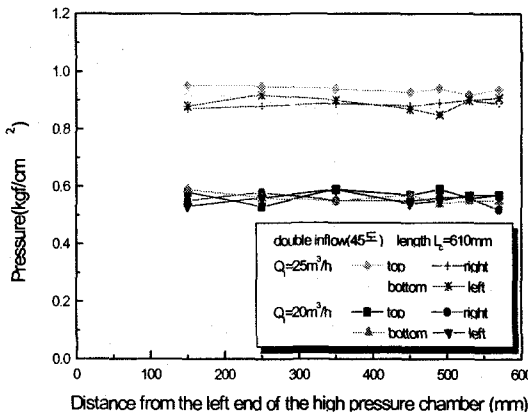


Fig. 7 Pressure difference in chamber with various values of entrance angle and inflow type

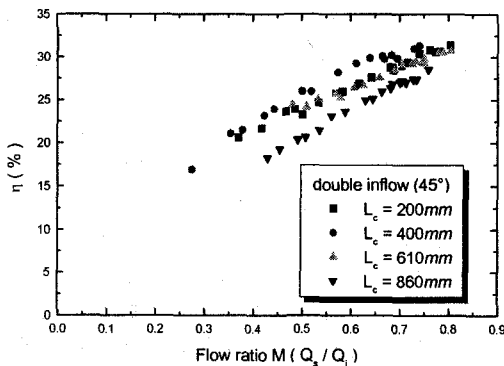


Fig. 8 Efficiency - flow ratio curves with various values of chamber length

4. 결론

고형물이나 물고기를 이송시키기 위한 환형 제트 펌프의 성능에 영향을 줄 수 있는 고압실 입구의 각도와 수 그리고, 고압실 길이와 고압실 입구유량의 변화에 따른 성능시험을 행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 1) 실험에 사용된 세가지 고압실 입구의 형상 중, 입구를 경사지게 하고, 한쪽방향 보다는 양쪽방향으로 하는 것이, 고압실 내부의 원주 방향으로 균일한 유동을 얻을 수 있고, 압력 손실을 줄여, 제트펌프의 성능을 크게 높일 수 있다.
- 2) 단입사 보다는 양입사일때가 고압실 내의 유동이 매우 안정적이라는 것을 알 수가 있었다.
- 3) 고압실 입구부 형태가 45° 양입사인 경우, 고압실 길이를 200mm, 400mm, 610mm, 860mm로 변화시켜 실험한 결과, 400mm부근에서 가장 효율이 높은 것으로 나타나, 제트펌프의 최대효율을 얻기 위해서는 고압실 내의 압력을 균등하게 만들 수 있는 고압실 길이가 필요하다는 것을 알았다.

참고 문헌

- (1) Jeewon CHANG, Hisoo HAN, Gabdong YOON, "Designing and Testing of a Fish Pump" Bull. Fish. Res. Dev. Agency. 24, pp. 67~72, 1980.
- (2) D. F. Elger, E. T. McLam and S. J. Taylor, "A

- new way to represent jet pump performance" ASME Journal of Fluids Engineering, Vol. 113, pp. 439~444, 1991.
- (3) 오병화, 권오봉 "노즐 형상에 따른 환형제트 펌프의 특성 연구", 한국어업기술학회지, 제34권 제4호, pp. 442-449, 1998.
- (4) 김명관, 권오봉 "다중노즐을 이용한 환형 제트 펌프의 성능에 관한 연구", 한국동력기계공학회지, 제3권, 제1호, pp. 23-28, 1999.
- (5) E. T. McLam, "The Engineering of an Annular Jet Pump System," M.S. thesis, University of Idaho. 1990.
- (6) Y. Shimizu, S. Nakamura, S. Kazuhara, and S. Kurata, "Studies of the Configuration and Performance of Annular type Jet Pumps" ASME Journal of Fluids Engineering, Vol. 109, pp. 205~212, 1987.
- (7) Joseph A. Schetz and Allen E. Fuhs., "Handbook of Fluid Dynamics and Fluid Machinery" WILEY INTERSCIENCE. pp. 2064~2067, 1996.
- (8) 하재현, 박선종, "유체기계", 문우당, pp. 307~311, 1996.
- (9) 김영득, 김성구, 최상호, "유체기계", 청문각, pp. 120~121, 1995.
- (10) 하재현, 박선종, 김양수, "유체역학", 문우당, 1993.
- (11) Frank M. White. "Fluid Mechanics." Mc- GRAW HILL, pp.156~158, 1994.