

고압실 형상에 따른 환형 제트펌프의 특성

권오봉 · 오병화 · 김명관 · 신현옥 · 정석권*

釜慶大學校

(1999년 10월 11일 접수)

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

Oh Boong Kwon, Byung Hwa Oh, Myong Kwan Kim,
Hyeon Ok Shin and Seok Kwon Jeong*

Pukyong National University, *Pukyong National University, Institute of Marine Industry

(Received October 11, 1999)

Abstract

Experimental studies on the characteristics of annular jet pump were carried out in this paper. Jet pump can be used widely for the transportation of solid materials, farm produce and fishes. 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.

기호설명

A : 단면적
D : 지름
h : 양정
H : 전 수두
L : 길이
M : 유량비
N : 수두비
p : 압력

Q : 유량
T : 두께
V : 유속

그리스 문자

β : 고압실 입구부와 고압실 사이의 각도
 η : 효율

아래첨자

c : high pressure chamber

d : delivery
 i : inlet
 j : jet
 s : suction

서 론

구동유체를 꼭 필요로 하는 제트펌프는 일반적인 원심펌프에 비해 효율이 낮아 이용의 폭이 매우 좁았다. 하지만 구조의 특성상 고형물을 이송할 수 있다는 장점이 있어 많은 산업체에서 특수한 목적에 이용하기 위하여 점차 응용분야의 폭을 넓혀 가고 있는 것이 현실이다. 예를 들어 산업체의 생산라인 구성요소로서 플라스틱 분말의 흡입 이송으로 또는 농공단지의 농산물가공단계에서 감자나 양파의 이송수단으로서 그리고 노르웨이, 미국, 일본, 네덜란드 등에서 물고기를 퍼 올리는 수단으로 이용하고 있다.¹⁾

이미 미국을 비롯한 일본 등에서는 제품으로의 단계까지 접근한 것으로 보고되고 있으나 우리나라는 아직 이 방면의 연구가 거의 없었고, 외국에서 수입하는 경향이지만, 최근에 국내에서도 권 등에 의한 연구가 활발히 진행되고 있다.^{2,3)} 최근의 환형제트에 관한 이론적, 실험적 연구로서 MacLam *et al.*⁴⁾과 Shimizu *et al.*⁵⁾의 연구가 보고되어 있으며, MacLam *et al*은 직관형(straight type)에 관해서, Shimizu *et al*은 축소 확대관형(convergent and divergent type)에 관해서 연구하여 직관형(straight type)과 비교하였고, 권 등은 환형의 제트 펌프에서 제트두께와 제트길이에 따른 특성, 축소각의 변화, 혼합실의 목 직경의 변화에 따른 특성, 다중노즐을 이용한 제트펌프의 특성 등을 연구를 하였다^{2,3)}. 제트 펌프는 중앙분사형과 환형 분사형의 두 종류가 있으며⁶⁾, 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 고형물질을 함께 이송시킬 수 있는 장점이 있다. 반면 중앙 분사형 제트 펌프(center-drive jet pump)는 구동 유체가 중심부에 있는 노즐을 통해 분사되

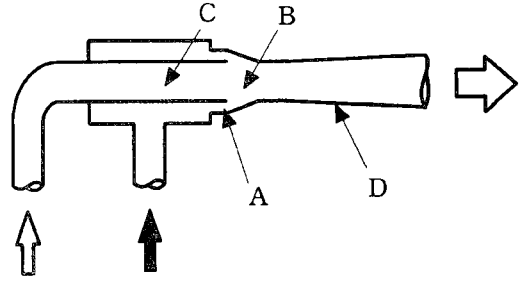


Fig. 1. Concept of annular-drive jet pump.

고, 흡입유체는 외주에서 흡입되는 구조로 제트부의 형상에 따른 제약이 있으므로 비교적 큰 고형물질의 흡입은 불가능하다. Fig. 1에는 환형 분사형 제트 펌프의 개념도가 도시 되어있다.

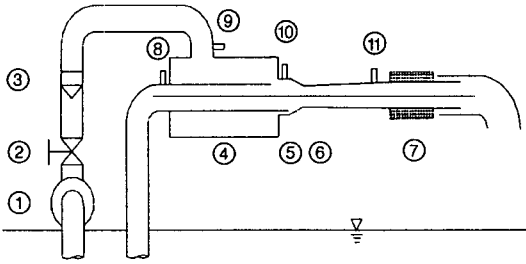
제트 펌프는 고압의 높은 에너지를 가진 구동유체(primary fluid), 즉 기체, 액체, 증기를 노즐 A에서 혼합실 B 내로 분출시켜, 흡입관 C 내의 저압유체를 흡입하면서 확대관 D에서 충돌 혼합시켜 속도를 감소시키고, 여기서 속도에너지를 압력에너지로 변환시킨 후 분출관으로 송출하는 펌프이다. 가동기계부분이 전연 없고, 구조가 간단하여 고장도 적으며, 취급이 편리한 점에서 오수(汚水), 이수(泥水)를 취급하는 수로(水路), 지하공사 등의 양·배수(揚·排水)라든지, 고형물의 수송장치로서 사용된다. 그러나 혼합실 내에서 노즐로부터 분사되는 고속유체와 흡입관에서의 저속유체가 혼합 충돌할 때의 손실은 극히 크므로 효율은 나쁘다⁷⁾.

본 논문은 어류나 기타 고형물의 이송에 적합한 환형 제트 펌프에서 성능을 높이기 위한 방법을 강구하고, 실험 데이터는 고효율 제트펌프 설계의 기반을 만들고자 한다.

실 험

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



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

Fig. 2. Test apparatus.

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 공급되는 유량(Q_i)는 플로트형 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 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 이전 실험에서 가장 좋은 결과를 나타낸 수치($24^\circ, 47mm, 239mm, 6^\circ$)들을 이번 실험에 그대로 적용하였고, 토출관의 직경은 $55mm$ 이다²⁾.

Fig. 3에는 실험에 사용된 제트펌프의 주요 형상 및 치수를 상세히 보여 주고 있으며, 특히 고압

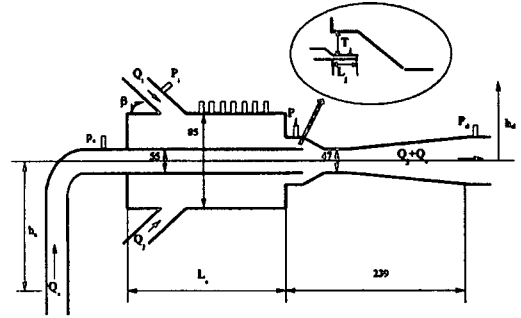


Fig. 3. Configuration and dimension.

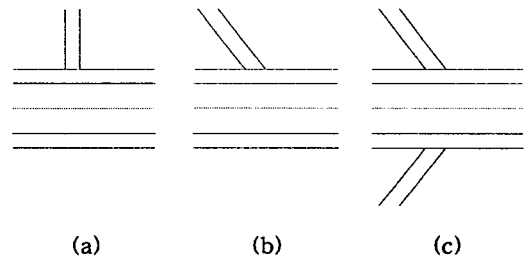


Fig. 4. Detail of high pressure chamber's entrance type. (a)single inflow(90°) (b)single inflow(45°) (c)double inflow(45°).

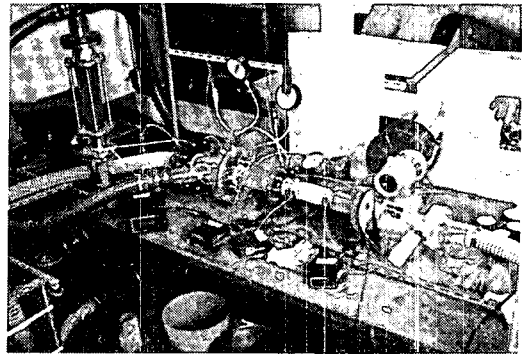


Photo. 1. View of the test apparatus.

실 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 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 알아보았다.

실험 결과 및 고찰

1. 실험 데이터의 계산

실험에 의해 측정된 흡입관, 고압실 입구, 환형 제트부 출구 및 토출관에서의 압력, 속도, 위치를 베르누이 방정식⁹⁾을 이용하여 전 수두로 나타내면 다음과 같다.

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

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

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

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

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)와 (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.

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

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

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

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

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

Fig. 5에는 고압실 입구 각도 및 입구 수에 따른 고압실 입구유량과 흡입유량과의 관계를 그래프로 도시하였다. 단입사 및 양입사 모든 경우 입구 각도와는 무관하게 상승 구배를 나타내 보이고 있으며, 특히 단입사보다는 양입사에서 흡입유량이 매우 크다는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 고압실 입구유량과 효율과의 관계를 나타낸 것으로, 단입사의 입구각도 45°, 90°는 거의 비슷한 효율을 보이고 있지만, 입구각도 45°의 양입사는 전체적인 효율이 상당히 높게 나타나고

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

있다.

Fig. 7에 고압실 입구 각도 및 입구 수의 변화에 따른 유량비(M)와 효율(η)과의 관계를 나타내었다. 유량비가 증가하면서 효율 또한 완만한 상승

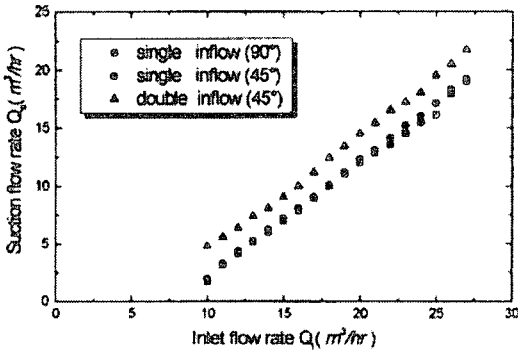


Fig. 5. Suction flow rate-inlet flow rate curves with various values of entrance angle and inflow type.

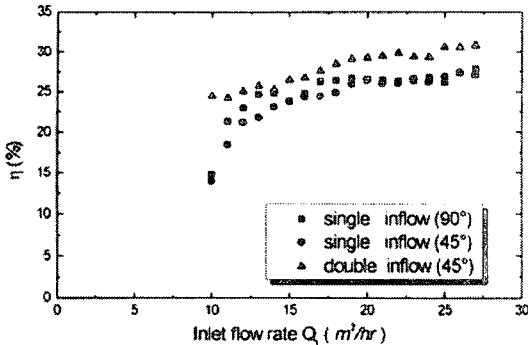


Fig. 6. Efficiency-inlet flow rate curves with various values of entrance angle and inflow type.

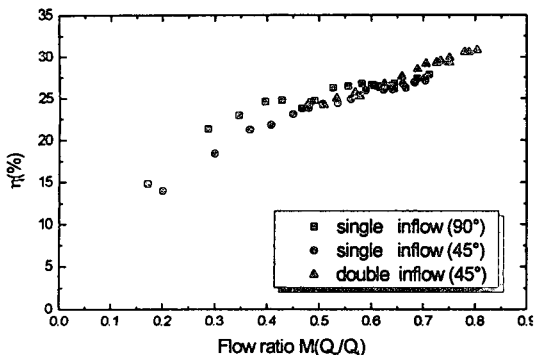


Fig. 7. Efficiency-flow ratio curves with various values of entrance angle and inflow type.

을 나타내고 있으며, 45° 양입사인 경우 유량비도 상당히 크고, 많은 유량비에서의 효율도 높게 나타나고 있다. 이것은 고압실내에서의 유동이 상당히 안정적이라는 것을 말해주고 있다.

3. 고압실 길이에 따른 특성

고압실과 고압실 입구부 사이의 각도에 대한 이전 실험에서 입구부 형태를 45° 양입사로 설계함으로써 효율의 증가를 가져 왔다. 따라서 45° 양입사인 경우, 고압실의 길이에 따른 제트펌프의 성능을 알아 볼 필요가 있다. 고압수가 고압실에 들어와서 원주방향으로 평형을 이루어 균일한 압력 분포를 나타내는데에는 적당한 고압실의 길이가 필요하게 되며 그에 따라 제트펌프의 성능은 달라지게 된다.

Table 2의 실험 조건을 적용하여 고압실의 길이를 200mm, 400mm, 610mm, 860mm인 경우에 대하여, 제트 유량에 따른 성능실험을 행하였다.

Fig. 8은 45° 양입사인 경우 고압실 입구유량(Q_i)과 수두비(N) 곡선을 나타내고 있으며, 입구유량이 많은 경우 수두비는 거의 비슷한 값을 보이고 있지만, 입구유량이 적은 경우 고압실의 길이가 400mm에서 가장 높은 수두를 보이고 있으며,

Table 2. Experiment conditions

제트 두께 (T_j)	4.5 mm
제트 길이 (L_j)	10 mm
고압실 길이 (L_c)	200, 400, 610, 860mm
흡입 양정 (h_s)	-450 mm
토출 양정 (h_d)	0 mm

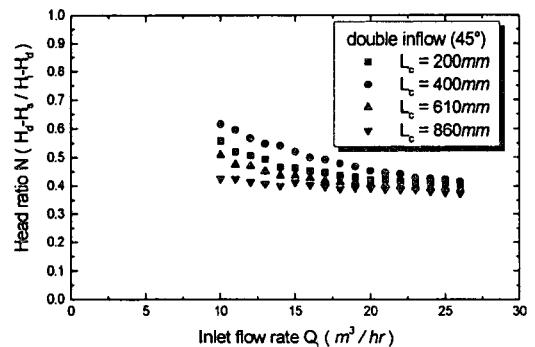


Fig. 8. Head ratio-inlet flow rate curves with various values of chamber length.

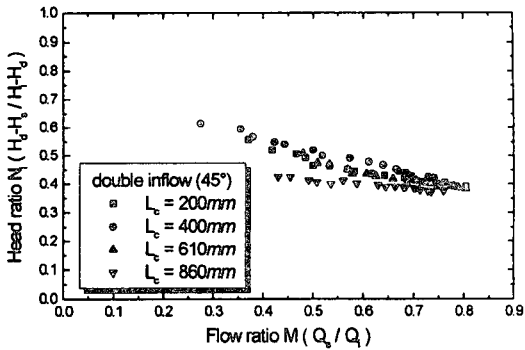


Fig. 9. Head ratio-flow ratio curves with various values of chamber length.

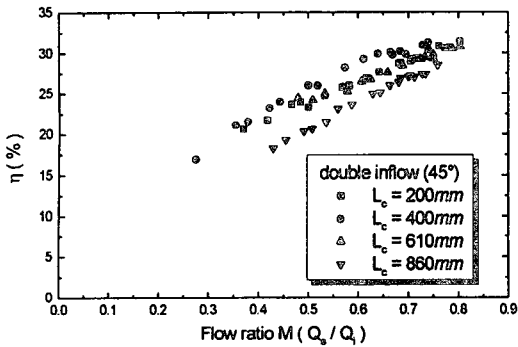


Fig. 10. Efficiency-flow ratio curves with various values of chamber length.

전체적인 수두를 보더라도 400mm의 수두가 가장 높게 나타나고 있다.

유량비(M)에 대한 수두비(N)의 관계를 Fig. 9에 나타내었다. 전반적으로 유량비가 증가함에 따라 수두비가 감소하고 있다. 이는 제트펌프의 특징중의 하나로 볼 수 있으며, 고압실 길이가 400mm에서 전 유량비에 걸쳐 높은 수두비를 나타내고 있다.

Fig. 10은 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 나타

날 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.

결론

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

1) 실험에 사용된 세가지 고압실 입구의 형상중, 입구부 형태를 45°양입사로 하였을 때 가장 성능이 좋은 것으로 나타났다. 입구를 경사지게 하고, 한쪽방향 보다는 양쪽방향으로 하는 것이, 고압실 내부에 원주 방향으로 보다 균일한 유동을 얻을 수 있고, 압력 손실을 줄여, 보다 높은 제트펌프의 성능 얻을 수 있다.

2) 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 어느 정도의 고압실 길이가 필요한 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 농림수산 기술 관리 센터 지원에 의한 “양식장의 인력 및 에너지 절약을 위한 자동화 시스템의 개발”에 관한 연구개발 결과의 일부이며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Chang, J. W., Han, H. S. and Yoon, G. D. (1980) : “Designing and Testing of a Fish Pump”, Bull.

고압실 형상에 따른 환형 제트펌프의 특성

- Fish. Res. Dev. Agency. 24, pp. 67~72.
- [2] 오병화 · 권오봉 (1998) : 노즐 형상에 따른 환형제트 펌프의 특성 연구, 한국어업기술학회지 제34권 제4호, pp.442~449.
- [3] 김명관 · 권오봉 (1999) : 다중노즐을 이용한 환형제트 펌프의 성능에 관한연구, 한국동력기계공학회지 제3권 제1호, pp.23~28.
- [4] McLam, E. T. (1990) : The Engineering of an Annular Jet Pump System, M.S. thesis, University of Idaho.
- [5] Shimizu, Y., Nakamura, S., Kazuhara, S. and Kurata, S. (1987) : Studies of the Configuration and Performance of Annular Type Jet Pumps, ASME Journal of Fluids Engineering, Vol. 109, pp. 205~212.
- [6] Karassik, I. J, et al. (1986) : "PUMP Handbook", McGRAW HILL, 4.1~4.27.
- [7] 하재현 · 손병진 (1993) : "유체기계", 보문당, pp. 202~204.
- [8] White, F. M. (1994) : "Fluid Mechanics." McGRAW HILL.