〈연구논문〉 한국동력기계공학회지 제4권 제1호 pp. 33~38 2000년 2월

다중 노즐을 이용한 중앙 분사형 제트 펌프의 성능에 관한 연구

A Study on the Characteristics of Jet Pump Having Exteriorly Connected Multi-nozzles

김명관 · 권오붕 · 김형근 · 이천근

M. K. Kim, O. B. Kwon, H. G. Kim and C. G. Lee

Key Words : Exteriorly Connected Jet Pump(외부 접속형 제트 펌프), Multi Nozzles(다중 노즐)

Abstract : The characteristics of center-driver jet pump which have multi-nozzle were studied in this research. Jet nozzles are connected outside of the bend rather than inserted in the bend in order to transport solid materials or fish without any harm. Jet pumps having one nozzle, two nozzles, four nozzles, and sixteen nozzles were tested in this study. The efficiencies and performances of jet pumps were studied for several nozzles shape, for three different mixing chamber shapes, for two suction area shapes. All the efficiency curves for these cases are presented in this paper.

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 : 벤튜리 입출구 각도
γ : 확대관 각도

아래첨자
j : jet
d : delivery
s : suction
i : inlet
o : outlet

접수일 : 1999년 12월 14일
김명관, 이천근 : 부경대학교 대학원
권오붕 : 부경대학교 기계 · 자동차공학부
김형근 : 부경대학교 산업대학원

1. 서 론

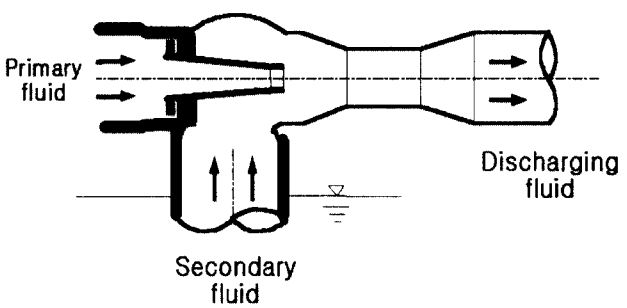
제트펌프는 효율면에서 일반 펌프와 비교하여 저효율을 보임에도 불구하고 많이 사용하고 있다. 그 이유로, 움직이는 기계적 부분이 없고, 구조가 매우 간단하며, 작동이 쉬운 관계로 장소에 구애를 받지 않는 이식성과 운전상의 신뢰도가 높은 점을 들 수 있다. 또한 일반 펌프는 고체를 이송할 수 없는 반면, 고체를 이송할 수 있어 광범위한 응용이 가능하기 때문에 수력발전소의 비상배수와 원자로용수 순환펌프, 그리고 선박에서 스트립핑(stripping)용, 빌지(bilge) 배출용, 조수기(fresh water generater)의 브라인(brine) 및 공기 배출용, 공산품 건조공정용, 비등형 경수로의 노심 내 냉각수 재 순환용, 압축공기나 액체를 이용한 고형물(분말, 슬러리) 이송용, 농산물의 세척, 껍질 제거용, 이상유체 혼합용 등으로 널리 이용되고 있다.

미국, 일본을 비롯한 유럽 등의 선진국에서는 물고기를 이송하는 수단으로 이미 상용화로 접근한 것으로 보고되고 있으나[1,2], 아직 국내에서는 수입에 의존하는 경향이 있으며 이 분야에 관한 이론적, 실험적 자료도 미비할 뿐만 아니라, 개량하고

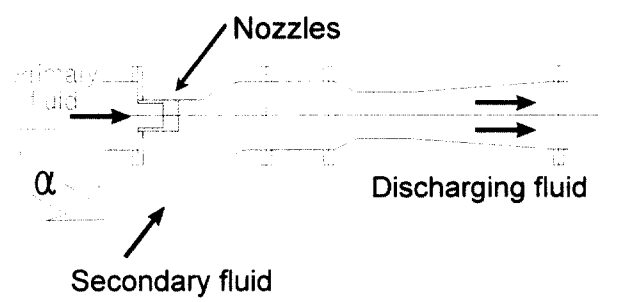
연구해야할 과제가 숙제로 남아 있다. 최근에는 국내에서도 연구가 진행되어 권 등은 환형의 제트 펌프에서 제트두께와 제트길이에 따른 특성, 축소각의 변화, 혼합실의 목 직경의 변화에 따른 특성, 다중노즐을 이용한 제트펌프의 특성 등을 연구를 하였다[3,4].

Fig. 1은 중앙분사형의 제트 펌프의 구조를 보여주고 있다. (a)는 중앙에 노즐이 있는 일반적인 제트펌프로 고형물질이나 어류가 통과하기에는 노즐이 장애가 된다. 하지만 이러한 장애를 줄이기 위한 방법으로 (b)의 외부접속형의 제트 노즐을 보여주고 있다.

본 연구에서는 중심 분류형 제트 펌프의 특이한 형태로서 밴드의 외부에 다중 노즐을 접속하여 어류나 기타 고형물의 이송에 적합한 제트부의 노즐 형상과 토출관, 흡입관의 각각 형상에 대하여 유량, 압력 성능 시험을 기반으로 고효율 펌프 설계에 기초적인 실험과 데이터 산출에 중점을 두고 있다.



(a) Conventional Jet pump



(b) Exteriorly connected Jet pump

Fig. 1 Concept of the jet pump

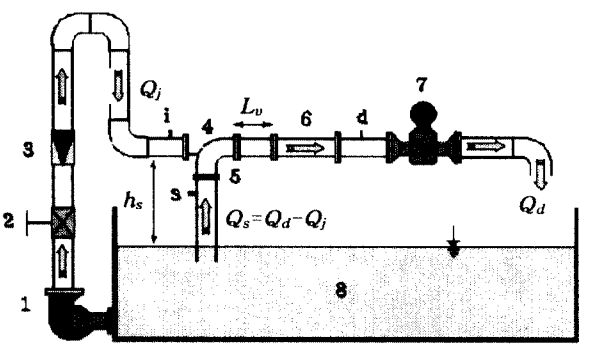
2. 제트 펌프의 원리

제트 펌프는 높은 에너지를 가진 액체, 기체, 증기 등 고압의 구동 유체(primary fluid)를, 고속 분사되도록 설계된 노즐을 통해 혼합실내로 분출시킨다. 분사된 고속의 구동유체로 인해 생성된 주위의 국부적인 저압은 흡입라인(suction line)을 통하여 다른 액체(secondary fluid)를 흡입하게 된다[5]. 흡입라인에 분말이나 고형물이 혼합되어 있다면 고형물을 이송할 수 있게 된다. 혼합실을 통해 에너지 교환을 한 혼합유체는 축소, 확대부를 가진 벤튜리를 거치면서 일부 속도 에너지가 압력 에너지로 전환되며 토출라인(discharging line)으로 송출된다.

효율은 10~30%정도로 낮지만, 간단한 원리를 이용한 다양한 응용과 제작이 가능하여 저렴한 장치 이용이 가능하다[6-8]. 구동유체와 흡입유체의 혼합이라는 특성상, 서로 다른 유체의 혼합에 있어서도 적용이 쉽게 될 수 있다.

3. 실 험

Fig. 2는 외부 접속형 다중 노즐을 가진 제트 펌프의 연구에 사용된 실험 장치도로, 유체의 유동을 육안으로 관찰하기 위하여 아크릴수지로 유송관을 제작하였다.



1	Centrifugal pump	7	Electro magnetic flow meter
2	Gate valve	8	Water tank
3	Float type flow meter	i	Pressure tap(inlet)
4	Nozzle(means jet)	s	Pressure tap(suction)
5	Mixing chamber	d	Pressure tap (discharge)
6	Venturi tube		

Fig. 2 Experiment apparatus

Fig. 2에서 보듯이 수조에 연결된, 동력용량이 11kW이고 최대 양정 32m의 원심 펌프에 의해 형성된 고압의 구동 유체 Q_j는 유량조절 밸브(gate valve)를 지나 유량계(float type flow meter)를 거

쳐 노즐에 의해서 혼합실로 분사된다. 고속으로 분사된 구동 유체에 의하여 혼합실은 대기압 이하의 저압을 형성하고 저압에 의해서 흡입된 흡입 유체 Q_s는 혼합실에서 혼합되고 일부의 속도 에너지를 압력에너지로 전환시키는 벤튜리(venturi)관을 거쳐 마그네틱 유량계(Electro magnetic flow meter)를 통하여 수조로 순환한다. 그리고 우리가 필요로 하는 압력과 유량은 구하고자 고압실 입구의 구동유체 압력, 제트부 압력, 흡입관의 흡입 압력, 토출관에서의 혼합 유체 압력인 p_i p_j, p_s, p_d는 디지털 압력계로 측정이 되어지며, 펌프에서 공급되는 구동유체 Q_i는 플로트형 유량계로, 토출 유량 Q_d 는 전자식 유량계로, 흡입 유량 Q_s는 Q_d와 Q_j의 차로서 구해진다. 본 실험에서는 수조 수면까지의 흡상높이 h_s를 450mm로 일정하게 하고 Q_i를 변화시키면서 제트펌프의 성능향상에 있어서 분사 노즐의 여러 형상, 토출관의 형상, 흡입관의 각도 등을 연구하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 실험데이터의 계산

실험에 의해 측정된 흡입관, 고압실 입구, 제트부 출구 및 토출관에서의 압력, 속도, 위치를 베르누이 방정식을 이용하여 전 수두로 나타내면 다음과 같다[9].

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

$$H_i = \frac{p_i}{\rho g} + \frac{V_i^2}{2g} + z_i \tag{2}$$

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

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

압력 p_s, p_i, p_j, p_d가 측정된 위치는 Fig. 2의 실험장치도에 나타나 있으며, 동일 수평선상에 놓여 있으므로 위치 수두는 무시될 수 있고, 구동유체와 흡입유체는 비압축성 유체(ρ=일정)로 가정한다. 그리고 수두비 N은 다음과 같이 정의된다.

$$N = \frac{H_d - H_s}{H_i - H_d} \tag{5}$$

또한, 유량비 M은 고압실 입구(또는 노즐부) 유량(Q_i)와 흡입 유량(Q_s)를 이용하여 다음과 같이 구하여진다.

$$M = \frac{Q_s}{Q_i} \tag{6}$$

일반적인 제트펌프의 효율은 제트 펌프에서 소모된 에너지와 흡입측 흐름에 부가된 전체 유효에너지 비로 정의되어 다음과 같이 된다[10,11].

$$\eta = \frac{\rho g\, Q_s\, (H_d - H_s)}{\rho g\, Q_i\, (H_i - H_d)} = M \cdot N \tag{7}$$

4.2 노즐수에 따른 특성

제트펌프의 성능은 분사 방식과 혼합 모형, 그리고 토출관의 형상 등에 영향을 받는다고 볼 수 있다. 먼저 노즐 수에 따른 영향을 보기 위해, 노즐 길이 L_n을 10mm로 동일하게 하고 노즐수가 다른 네 가지 경우 즉, 1개, 2개, 4개, 16개 노즐을 Table 1와 같은 실험 조건하에서 각각 실험하였다.

Table 1 Experimental conditions

1. Nozzle length (L_n)	10 mm
2. Suction angle (α)	90°
3. Inlet potential head (h_s)	-450mm
4. Outlet potential head (h_d)	0mm

Table 2 Configuration of the nozzle shape in jet part

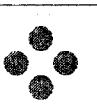
	Nozzle shape	No. of nozzles	nozzle dia.	Area ratio (A_j/A_d)
A		1EA	19.8mm	0.14
B		2EA	14mm	0.14
C		2EA	14mm	0.14
D		4EA	10mm	0.14
E		4EA	10mm	0.14
F		16EA	5mm	0.14

Table 2는 실험에 사용된 4가지 노즐의 형상 및 치수를 나타낸 것이다. 면적비는 0.14로 동일하며, 1개의 노즐을 가진 경우의 노즐 직경은 19.8mm, 16개 노즐을 가진 경우의 1개 노즐직경은 5mm로 된다. 참고로 2개 노즐, 4개 노즐을 가진 경우는 위치에 따른 가능성을 보기 위해 수직형과 수평형으로 나누어서 실험하였다. Fig. 3은 흡입 유량(Q_s)과 수두비(N)와의 그래프로 2(vertical), 2(horizon), 4(vertical), 4(horizon)은 Table 2의 B, C, D, E를 의미한다. 흡입 유량이 증가함에 따라 수두비가 전반적으로 감소하고 있고, 흡입 유량이 많아질수록 대부분의 경우에 수두비의 감소가 완만해진다. 면적비=0.14, L_n=10mm 인 실험에서, 1개 노즐은 동일 유량비에 대해 높은 수두비를 보이고 있다.

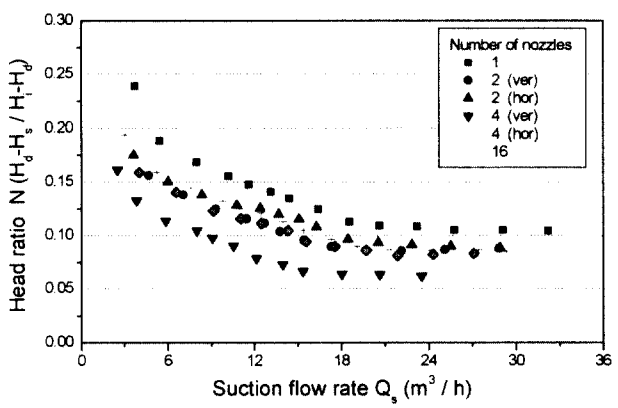


Fig. 3 Head ratio - suction flow rate curves with various number of nozzles

흡입 유량(Q_s)과 효율(η)과의 관계는 Fig. 4에 나타내고 있다. 흡입 유량의 증가에 따라 효율도 전반적으로 증가하지만 대부분의 경우에서 효율 감소기를 가짐을 볼 수 있다. 13~17%의 효율 변화 폭을 보인 1개 노즐의 효율이 상대적으로 높게 나타났다. 그 이유로 노즐수가 1개인 경우, 다수의 노즐에 비해 노즐을 통과하는 제트류의 마찰 저항이 상대적으로 작아서 압력손실이 적게 되기 때문인 것으로 추측된다.

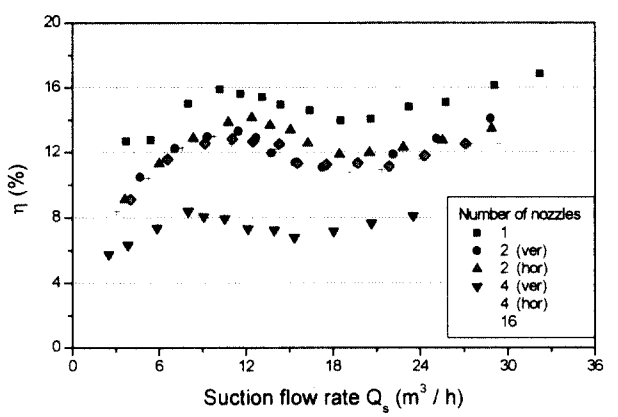


Fig. 4 Efficiency - suction flow rate curves with various number of nozzles

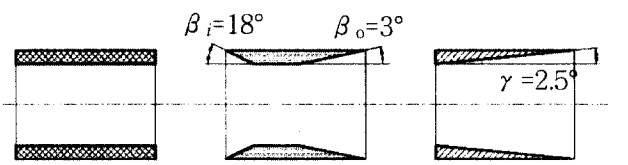
참고로 제트펌프에서의 실험 과정 중에, 고속 분사시 집중된 운동량에 의한 진동과 소음은 노즐수가 1개인 경우가 타 경우보다 다소 높았다. 그리고, 연질의 고체 물질을 흡입하였을 때, 분류가 가하는 충격력이 큰 관계로 인한 표면 손상도 보였음을 밝힌다.

제트류에 의한 손상 가능성이 적은 흡상매질인 경우에는, 노즐 수가 1개인 노즐을 사용하고, 손상이 있는 흡상 매질이라면, 효율이 다소 떨어지더라도 다중노즐을 사용해야 한다. 그리고 위의 결과들을 실제에 적용시킨다면 고유량이 필요할 때, 높은 수두비가 필요할 때, 또는 흡상 매질의 종류를 고려하여야 할 때, 각 경우에 적합한 노즐을 Fig. 4를 참고하여 알맞은 노즐을 사용하여야 한다.

4.3 토출관 형상에 따른 펌프의 특성 비교

노즐을 지난 혼합유체는 될 수 있는 한 형상의 손실, 마찰의 손실 등을 줄여야 하고, 고유량 혹은 고수두 등의 목적에 맞는 성능으로 적재적소의 장소에 이송될 수 있어야 한다. 이러한 목적을 위해 벤튜리관, 축소부분과 확대부분이 없는 균일한 평관, 그리고, 확대부만 있는 혼합실을 각각 설치하여 이들을 비교하였고 이들의 단면도를 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5의 세 가지 형상에 따른 흡입 유량, 수두비, 효율 관계를 나타내며 Fig. 6, Fig. 7과 같다. Q_j와Q_s의 혼합과정이 매우 중요한 제트 펌프에서 혼합실이 축소 · 확대 즉, 벤튜리로 되어 있는 제트펌프 구조에서 가장 넓은 흡입 유량 범위와 효율을 보임을 알 수 있다



(a) Cylinder tube (b) Venturi (c) Expansion tube

Fig. 5 Shape of the three types in discharging parts

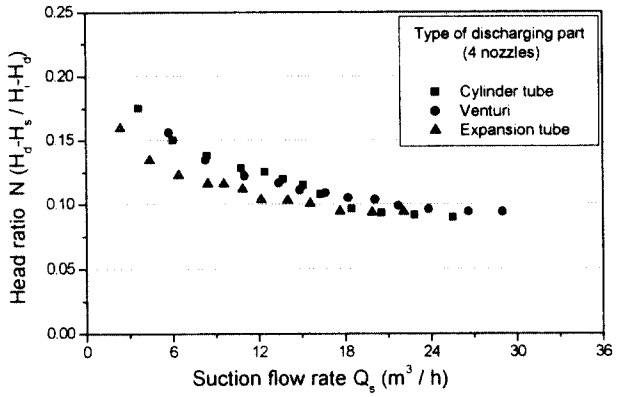


Fig. 6 Head ratio - suction flow rate curves with three types of discharge pipe

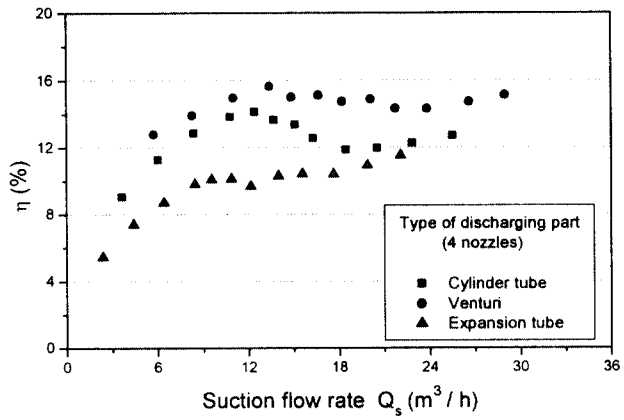


Fig. 7 Efficiency - suction flow rate curves with three types of discharge pipe

4.4 흡입관의 각도에 따른 제트 펌프의 특성 비교

지금까지의 실험은 제트 펌프의 노즐 수, 토출부 형상이 제트 펌프의 성능에 미치는 영향에 대해서 행해졌다. 제트 펌프는 노즐, 토출부 형상 외에, 흡입 유체 유입방식 또한 제트 펌프에 상당한 영향을 줄 수 있다고 판단된다.

Table 3 Experimental conditions

1. Number of nozzles	4 EA
2. Nozzle length (L_n)	10mm
3. Inlet potential head (h_s)	-450mm
4. Outlet potential head (h_d)	0mm

흡입관의 각도를 α=90°로 했을 경우, 압력 차이에 의해 흡입되는 유동흐름이 90°로 꺾이게 되고, 노즐 분사류와 수직으로 부딪치게 된다. 이것은 실험과정 중에 발생하는 진동, 소음의 원인 중의 하나가 될 수 있다. 이러한 흡입유체가 혼합실로 유입시 발생하는 불안정한 유동흐름을 개선하고 손실을 줄일 수 있는 방안으로 α=45°로 제작하여 비교하였다.

벤튜리가 있는 경우 4개의 노즐을 가진 제트펌프의 흡입유량에 따른 수두비와 효율특성을 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내었다. 이때의 실험조건은 Table 3과 같다. α=45°제트 펌프는 동일 흡입 유량에 대해 높은 수두비를 보이고 있고, 효율 특성도 뚜렷한 차이를 보이며 높다. Fig. 1의 α를 보다 작은 각으로 제작하여 흡입유의 유동흐름을 원활히 함으로써 좀 더 나은 결과를 예측할 수 있다.

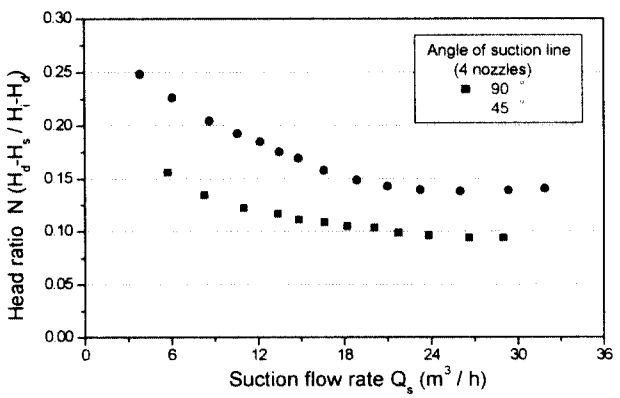


Fig. 8 Head ratio - suction flow rate with angle of suction pipe

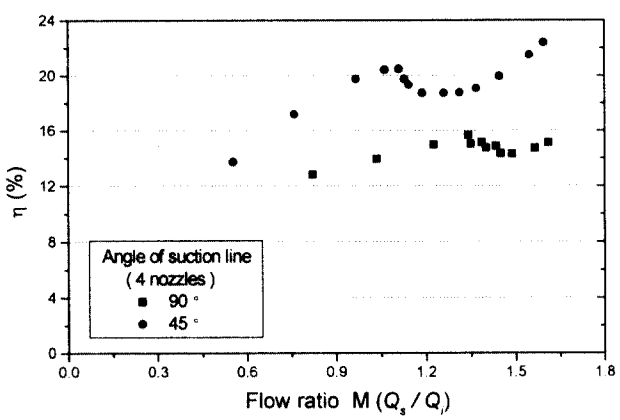


Fig. 9 Efficiency - flow ratio with angle of suction pipe

5. 결 론

본 연구에 이용되는 제트 펌프는 중심 분류형으로서, 고형물이나 분말의 흡입 이송을 원활히 하기 위해 외부접속형으로 제작해서 실험한 것이다. 제트 펌프의 노즐수에 따른 특성, 토출관 형상에 대한 특성 및 흡입관 입구 각도(α)에 따른 특성을 실험하였으며, 결과는 다음과 같다.

1) 노즐길이 L_n을 10mm로 하고 노즐 수를 1개, 2개, 4개, 16개에 따라 제트펌프의 성능을 조사한 결과, 노즐수가 1인 경우 가장 좋은 효율을 보였고, 2개, 4개, 16개 노즐은 비슷한 효율을 보였다. 구동유체의 집중된 고속분사로 인해 야기되는 진동, 소음, 이송 고형물의 손상 등을 줄이기 위해서는 2~4개의 노즐을 가진 다중노즐을 사용하는 것도 고려해 볼 수 있다. 물론, 필요에 따라 이송 고형물의 높은 안전성을 위해 16개 노즐도 고려할 수 있다.
2) 혼합실의 형상을 확대 축소가 없는 평관, 벤튜리관, 확대관의 3가지 형상에 대해 실험을 한 결과, 혼합실 형상이 벤튜리관일 때가 평관, 확대관 일 때에 비하여 효율이 높게 나타났고, 유량의 범위가 가장 넓었다.
3) 흡입 유체가 혼합실로 유입시 발생하는 불안정한 유동흐름에 의한 손실을 줄일 수 있는 개선책으로 흡입유의 유입각도 α를 45°로 한 경우의 제트 펌프에서 동일 유량비에 대해 높은 수두비를 보였고, 효율 또한 높았다.

후 기

본 연구는 부경대학교 해양산업개발 연구센터를 통한 한국과학재단 우수 연구센터 지원금에 의한 것입니다.

참고문헌

1. J. Chang, H. Han, and G. Yoon, "Designing and Testing of a Fish Pump" Bull. Fish. Res. Dev. Agency. vol 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, 권오붕 "노즐 형상에 따른 환형제트 펌프의 특성 연구", 한국어업기술학회지, 제34권 제4호, pp. 442~449, 1998
4. 김명관, 권오붕 "다중노즐을 이용한 환형 제트 펌프의 성능에 관한 연구", 한국동력기계공학회지, 제3권, 제1호, pp. 23~28, 1999
5. J. A. Schetz and A. E. Fuhs., "Handbook of Fluid Dynamics and Fluid Machinery" Wiley Interscience. pp. 2064~2067, 1996
6. 하재현, 박선종, "유체기계", 문운당, pp. 307~311, 1996
7. 김영득, 김성구, 최상호, "유체기계", 청문각, pp. 120~121, 1995
8. 하재현, 박선종, 김양수, "유체역학", 문운당, 1993
9. F. M. White. "Fluid Mechanics." McGraw Hill, pp. 156~158, 1994
10. E. T. McLam, "The Engineering of an Annular Jet Pump System," M.S. thesis, University of Idaho, 1990
11. 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