

다중노즐을 이용한 환형 제트 펌프의 성능에 관한 연구

The Effect of Multi Nozzles on the Characteristics of Annular Jet Pump

김명관 · 권오봉

M. K. Kim and O. B. Kwon

Key Words : Annular Jet Pump(환형 제트 펌프), Multi Nozzles(다중 노즐)

Abstract : Experimental and theoretical researches about jet pump have been carried out by many researchers. Jet pump can be used for the transportation of solid materials, farm produce, and fishes. It is the purpose of this paper to seek optimal multi nozzle shape of the annular jet pump. Experiments were done for several jet nozzle areas, jet nozzle arrays and jet nozzle lengths. Water was used for both the primary fluid and secondary fluid. The efficiency curves for the annular jet pump having multi nozzles are presented in this paper.

기 호 설 명

- A : 단면적
- D : 지름
- h : 양정
- H : 전 수두
- L : 길이
- M : 유량비
- N : 수두비
- p : 압력
- Q : 유량
- V : 유속

그리스 문자

- η : 효율

아래첨자

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

1. 서 론

제트 펌프는 응용분야가 많으면서도 효율이 다른 펌프에 비해 상대적으로 낮은 단점이 있으나 제트 펌프의 특성상 고형물을 이송하는 특정분야 즉, 배 밑바닥의 이물질을 제거하는 작업, 농공단지에서의 농산물인 감자, 양파, 고구마 등의 이송 수단, 플라스틱 분말의 흡입 이송 작업, 지하수의 배출용, 보일러 급수용, 슬러리(slurries)등의 이송 수단으로 응용되고 있다. 또 최근에는 노르웨이, 미국, 일본 및 네델란드 등 양식업의 선진국에서는 물고기를 이송하는 수단¹⁾으로 연구가 되어 실용화에 성공하여 특정한 분야에 다양하게 사용되고 있다^{2,3)}. 하지만 국내에서는 이 방면에 대한 연구가 거의 없어, 값비싼 외국산을 수입하였다. 하지만, 최근에는 권, 오, 최 등에 의한 연구가 진행되고 있다^{4,5)}. 제트 펌프는 중심 분사형(center-drive)과, 환형 분사형(annular-drive)의 2종류가 있다. 환형 분사형에 관해서는 Maclam et al.²⁾과 Shimizu et al.³⁾의 연구가 보고 되어 있으며, Maclam et al은 직관형(straight type)에 관해서, Shimizu et al은 축소 확대관형(convergent and divergent type)에 관해서 연구하여 직관형(straight type)과 비교하였고, 오와 권은 환형의 제트 펌프에서 제트두께와 제트길이에 따른 특성에 관해 연구를 하였다.⁴⁾

본 연구에서는 어류의 이송에 적합한 환형의 제트 펌프에서 노즐의 형태를 변형하여서 다중의 노

접수일 : 1999년 1월 9일

김명관 : 부경대학교 대학원

권오봉 : 부경대학교 기계·자동차공학부

즐을 이용하여 다중 노즐의 형상과 노즐 길이의 변화에 있어서 환형 제트 펌프의 성능을 구하고자 한다.

2. 제트 펌프의 원리

제트 펌프⁶⁾는 높은 에너지의 분류를 사용하여 흡입관에서 저에너지의 유체를 흡입하고 이것에 에너지를 부여하여 고압쪽으로 송출하는 펌프이다. Fig. 1 은 환형 분사형 제트펌프를 나타내고 있다.

A를 통해서 공급되는 고압유체(구동유체)는 노즐 B를 거쳐서 높은 속도로 분사된다. 이때 노즐 출구 부근은 낮은 압력으로 되어 흡입유체를 흡입관 F로부터 흡입할 수 있게 된다. 고속의 구동유체(Q_i)와 흡입된 흡입유체(Q_s)는 C에서 충돌, 혼합되어서 두 유체 사이에 에너지의 교환이 이루어져 같은 속도로 된다. C내에서의 유동은 고속이므로 이것을 확대관 D에서 감속하고 운동에너지의 일부를 압력에너지로 변환한 후 송출관 E로 송출한다⁷⁾. 분출 유체를 물을 사용하는 것을 수 분사 펌프⁸⁾, 증기를 사용하는 것을 증기 분사 펌프⁹⁾라 하며 분사 펌프는 가동 기계 부분이 없고, 구조가 간단하며, 고장도 적어 사용하는데 편리하기 때문에 응용 분야가 대단히 넓다. 특히 지하수의 배출용, 수로 공사 등에 많이 사용되고 있다. 그러나 고속도의 구동 유체가 저속도의 유체를 구동하기 때문에 충돌에 의한 에너지 손실이 커서 효율은 보통 10~30%이며 비경제적이므로 이것의 이용 범위는 매우 적고 일반적인 펌프로서의 사용은 극히 드물다.^{7,10)}

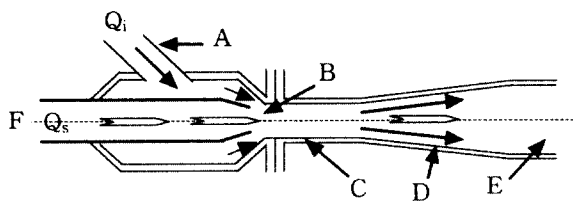


Fig. 1 Concept of jet pump

3. 실험데이터의 계산

실험에 의해 측정된 흡입관, 고압실 입구, 환형 제트부 출구 및 토출관에서 압력, 속도, 위치를 베르누이 방정식¹¹⁾을 이용하여 전 수두로 나타내면 다음과 같다.

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

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

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

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

여기서 하첨자 s, i, j, d 는 각각 흡입(suction), 입구(inlet), 제트(jet), 토출(discharge)을 나타내며, 따라서 Fig. 2에 표시된 p_s, p_i, p_j, p_d 는 흡입, 입구, 제트, 토출측에서 측정된 압력을 나타내고 있다. 이 압력 측정 점은 동일 수평선상에 놓여 있으므로 위치 수두는 무시될 수 있고, 구동 유체와 흡입 유체는 비압축성 유체로 가정한다.

제트의 효율을 나타내기 위하여 제트 출구에서의 전수두 H_j 를 기준으로 한 다음과 같은 효율이 사용되기도 한다^{2,3)}.

$$\eta_j = \frac{\rho g Q_s (H_d - H_s)}{\rho g Q_j (H_j - H_d)} \quad (5)$$

그러나 제트 출구에서의 전수두 H_j 를 기준으로 한 효율 η_j 는 고압실에서의 마찰 손실 및 제트 부분에서의 저항손실 등이 포함되지 못한 것으로 환형 제트 펌프 전체의 효율로 사용하기에는 문제가 있다고 보여진다. 따라서, 본 연구에서는 고압실 입구에서의 전수두 H_i 를 기준으로 한 다음과 같은 수두비 N 와 효율 η 를 사용하기로 한다.^{4,5,12)}

$$N = \frac{H_d - H_s}{H_i - H_d} \quad (6)$$

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

여기서 M 은 고압실 입구유량 (또는 제트유량), 과 흡입유량과의 유량비를 나타내며 다음과 같이 정의된다.

$$M = \frac{Q_s}{Q_i} \quad (8)$$

4. 실험방법

4.1 전체실험장치도

Fig. 2는 본 연구에 사용된 전체 실험 장치도를 보여주고 있다. 원심펌프 ①에서 송출되는 구동유체(primary fluid)는 유량 조절 밸브 ②를 지나 플로우트(float)형 유량계 ③을 거쳐 고압실 ④로 흘러가며, 중심부에 있는 흡입관 주위의 환형 제트부 ⑤를 통하여 분사된다. 고속으로 분사된 구동유체에 의하여 중심부는 대기압 이하의 저압을 형성하고, 저압에 의해서 흡입된 흡입유체는 혼합실에서 혼합되고 속도 에너지를 압력에너지로 바꾸어 주는 디퓨저(diffuser)⑥을 통과하여 마그네틱 유량계 ⑦를 거쳐 수조로 낙차 한다.

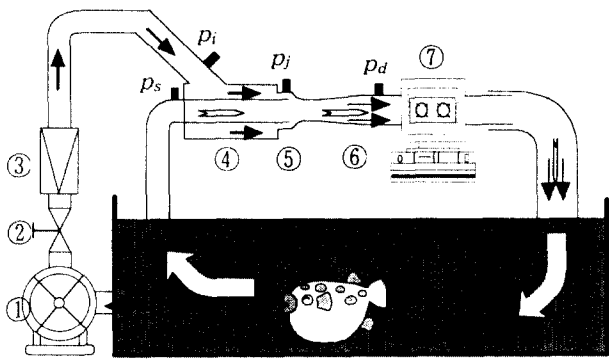


Fig. 2 Schematic diagram of test apparatus

흡입관, 고압실 입구, 환형 제트부 및 토출관에서 압력 p_s, p_i, p_j, p_d 압력은 압력변환기로 측정하였다. 고압실 입구에서는 플로우트 유량계에 의해서 유량(Q_i)을 측정하고 토출관에서는 마그네틱 유량계에 유량(Q_d)을 측정하였다. 흡입유량(Q_s)은 토출유량(Q_d)과 고압실 입구유량(Q_i)의 차로 구해진다. 여기서 s, i, j, d 의 유량 Q 에서 각각 단면적 A 를 나누어 속도 V_s, V_i, V_j, V_d 를 구할 수 있다.

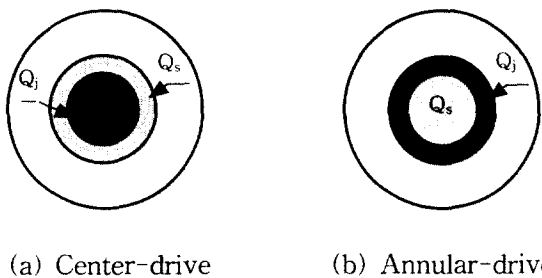


Fig. 3 Comparison of center-drive jet and annular-drive jet

Fig. 3은 제트 펌프 제트부의 노즐 형식을 크게 두 가지로 나타낸 것이다. 일반적인 제트 펌프의 노즐 형상인 중앙 분사식의 노즐(a)은 구동유체 Q_j 가 중앙에서 분사되고, 흡입유체 Q_s 가 외주에서 흡입되는 구조로 되어있다. 고히물 및 물고기 이송에 매우 유용한 환형 분사형의 노즐(b)은 구동유체 Q_j 가 외주에서 분사되고, 흡입유체 Q_s 가 중앙에서 흡입되는 구조로 되어 있다.

Fig. 4는 본 실험에 사용된 제트부의 노즐 형상을 나타낸 것이며, 구동유체가 분사되는 분사 노즐을 원형으로 배치하였다. Fig. 4(a)의 type A는 환상의 공간에 최대 개수의 노즐을 만든 것이고, type B는 type A 노즐수의 1/2, type C는 type A 노즐수의 1/4 노즐을 나타낸 것이며, 노즐 직경, 노즐 길이, 노즐 수 등의 변화에 의한 환형 제트 펌프의 특성을 연구하였다.

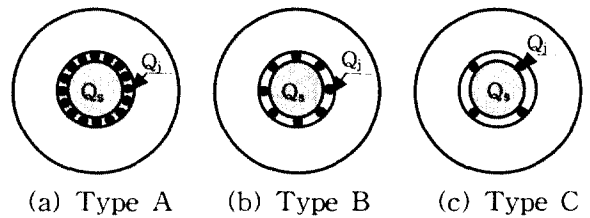


Fig. 4 Tested annular jet pump having multi nozzles

5. 결 과

5.1 노즐 크기에 의한 제트 펌프의 성능

일반적으로 제트 펌프의 성능은 제트부의 형상에 의해 영향을 크게 받는다. 제트 길이를 20mm로 일정하게 두고 제트 면적의 변화가 제트 펌프의 성능에 어떠한 영향을 미치는가를 알아보기 위하여, 제트 면적을 245mm²(노즐 직경 2.5mm, 노즐 수 50), 760mm²(노즐 직경 5.5mm, 노즐 수 32), 1000mm²(노즐 직경 7mm, 노즐 수 26)의 3가지 경우에 대해 제트 펌프의 성능을 조사했다.

Table 1은 실험에 사용된 3종류의 제트 면적을 환산하여 흡입관 면적과 비교한 것이다.

Table 1 The ratio of suction pipe area to nozzle area for type A

Diameter (mm)	Number of nozzles	Jet Area (mm ²)	A _j /A _s
2.5	50	245	0.10
5.5	32	760	0.32
7	26	1000	0.42

Fig. 5는 type A의 환형 제트 펌프에서 노즐 수를 50, 32 및 26개로 변화하였을 때(즉, 노즐 직경을 2.5, 5.5, 7mm로 변화하였을 때), 유량비(M)에 따른 수두비(N)를 나타내고 있다. 면적비가 작은 노즐 직경 2.5mm 경우 유량비는 크지만 수두비가 상당히 작으며, 유량비가 증가할수록 오히려 수두비가 감소한다. 면적이 큰 노즐 직경 7mm의 경우, 수두비가 크고 점차 상승하고 있으나 유량비가 너무 적게 나타난다. 이것은 제트 유량에 비해 흡입 유량이 적다는 것을 말한다. 노즐 직경 5.5mm에서는 유량비가 0.5일 때까지 비교적 높은 수두비를 나타내고 있으며, 전체적인 수두비가 가장 높다.

세 가지 제트면적(노즐면적)에 대하여, 유량비에 따른 type A 환형 펌프의 효율을 Fig. 6에 나타내

었다. 세 가지 경우 모두 유량비가 증가함에 따라 효율은 전반적으로 상승하는 것을 볼 수 있고, 노즐 직경 5.5mm 즉, 면적비 A_j/A_s 0.32 에서 유량비가 비교적 크고, 효율이 가장 좋게 나타나는 것을 볼 수 있다.

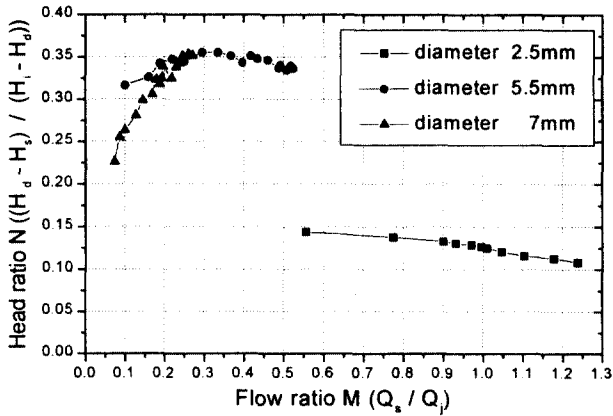
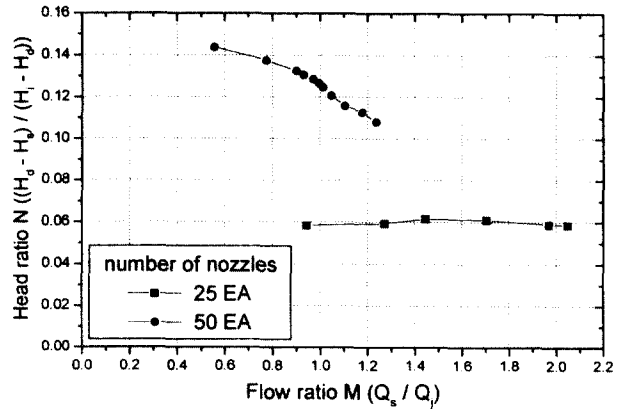
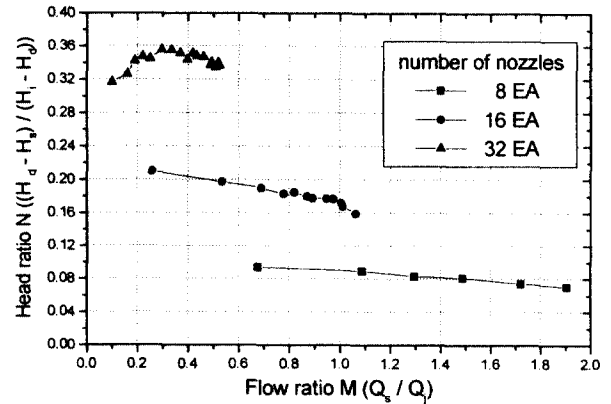


Fig. 5 Head ratio - flow ratio curves with various values of jet areas



(a) Nozzle diameter : 2.5mm



(b) Nozzle diameter : 5.5mm

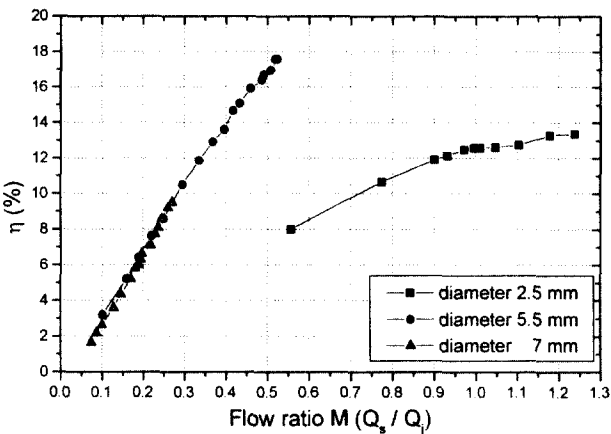
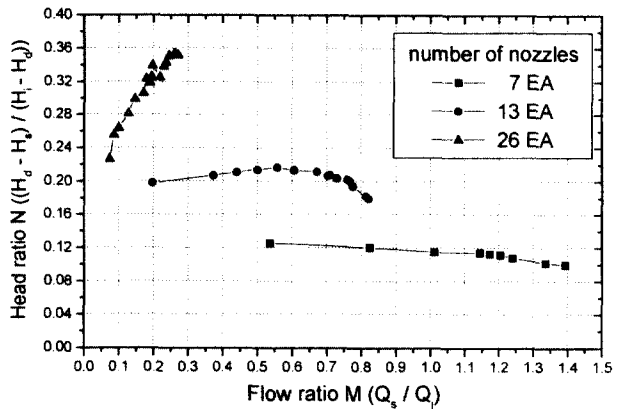


Fig. 6 Efficiency - flow ratio curves with various values of jet areas



(c) Nozzle diameter : 7mm

Fig. 7 Head ratio - flow ratio curves for tested annular jet pumps

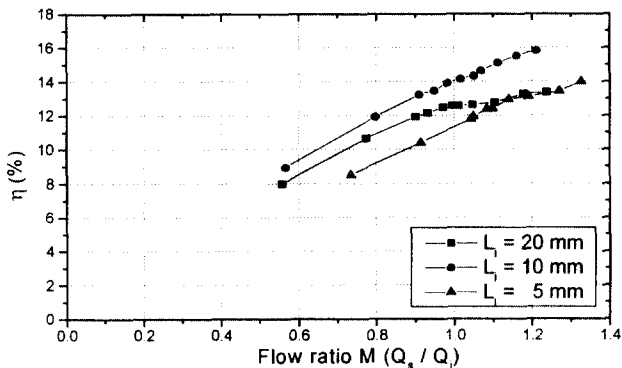
5.2 노즐 형상에 따른 제트 펌프의 성능

노즐 형상의 변화가 제트 펌프의 성능에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위한 실험으로 노즐 직경 2.5mm, 5.5mm, 7mm의 각 경우에 대해 노즐 수를 Fig.4의 type A에서, type B, type C로 줄여 가며 제트 펌프의 성능을 알아보았다.

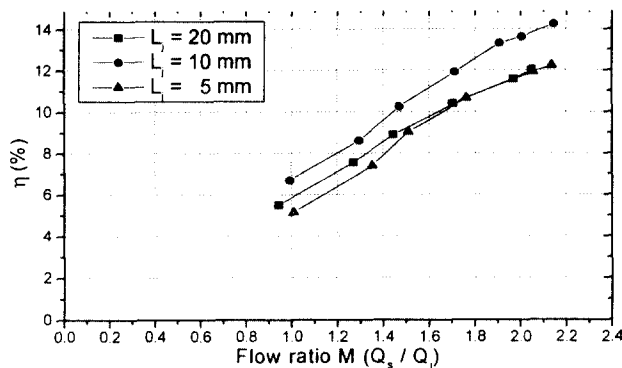
Fig. 7은 각 노즐의 직경별로 노즐 수의 변화에 따른 유량비와 수두비를 나타내고 있다. Fig. 7(a)의 노즐 직경 2.5mm인 경우, 노즐 수가 25에서는 유량비가 상당히 크지만 수두비가 낮게 나타나고 있으며, 노즐수가 50에서는 반대로 유량비는 적지만 수두비는 상당히 높게 나타나고 있다.

Fig. 7(b)의 노즐 직경 5.5mm인 경우에서도 노즐수가 적은 8개에서 유량비는 크게 나타나지만, 수두비가 낮게 나타나고 있으며, 반대로 노즐수가 많은 32개에서는 수두비는 크지만, 유량비는 적게 나타나고 있다. Fig. 7(c)의 노즐 직경 7mm에서도 앞의 경우와 비슷한 경향을 보이고 있다.

따라서, Fig 7은 고유량, 저양정이 요구되는 경우에는 노즐수가 적은 노즐을 사용하고, 반대로 저유량, 고양정을 필요로 하는 경우에는 노즐수가 많은 노즐을 사용해야 한다는 것을 보여주고 있다.

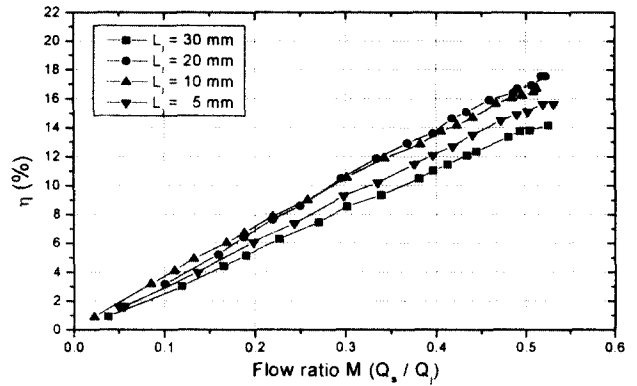


(a) Nozzle diameter : 2.5mm, 50 holes

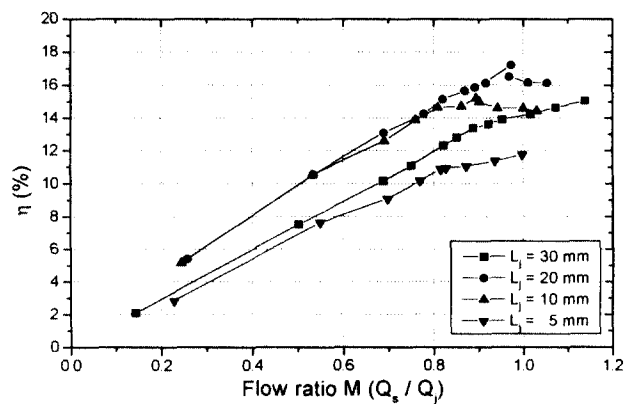


(b) Nozzle diameter : 2.5mm, 25 holes

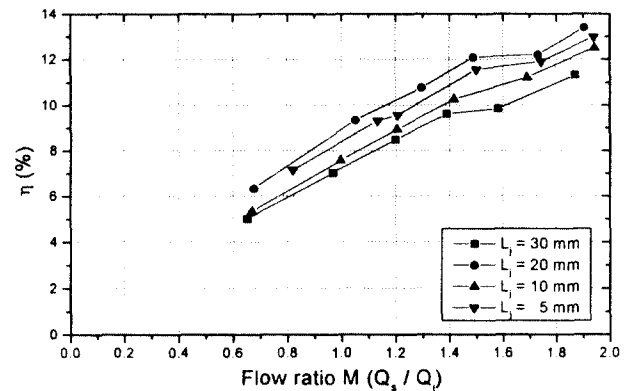
Fig. 8 Efficiency - flow ratio curves with various values of jet length



(a) Nozzle diameter 5.5mm, 32 holes



(b) Nozzle diameter 5.5mm, 16 holes



(c) Nozzle diameter 5.5mm, 8 holes

Fig. 9 Efficiency - flow ratio curves with various values of jet length

5.3 노즐 길이에 따른 제트 펌프의 성능

노즐길이란 Fig. 4의 노즐형상에서 축 방향의 길이를 말한다. 즉, 구멍의 길이 이다. 각각의 노즐 직경에 따른 노즐 길이를 5mm, 10mm, 20mm, 30mm로 변화시키면서 노즐 길이 변화와 제트 펌프의 성능과의 관계를 Fig. 8에 나타내었다.

참고문헌

노즐 직경 2.5mm에서 제트 펌프의 효율은 Fig. 8에서 확인할 수 있듯이 노즐 수가 50, 25인 경우 모두 노즐 길이가 10mm에서 가장 높은 효율 곡선을 나타내고 있어 최적의 노즐 길이가 이 부근에서 존재함을 보여주고 있다. 이것은, 노즐 길이, L_j 가 길면 길이에 따른 마찰 손실은 증가하지만, 직선적으로 분사시키는 제트 기류 형성이 좋아진다는 것을 의미한다. 즉, 노즐 길이 5mm인 경우보다 10mm인 경우가 비록 마찰 손실은 크지만 제트 기류의 형성이 좋아 결과적으로는 높은 효율을 나타내고 있다는 것이다. 그러나 노즐 길이가 더욱 더 길어지면 마찰 손실의 영향이 점점 커지고, 그에 따른 효율이 감소됨을 추측할 수 있다.

6. 결 론

본 연구는 어류 이송을 목적으로 한 피쉬 펌프 (fish pump)를 개발하기 위한 것으로, 다중 노즐을 가지는 환형 제트 펌프의 성능에 관하여 연구를 행한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 환형 제트 펌프의 성능은 제트 면적과 흡입관 면적과의 비에 의해 큰 영향을 받는 것으로 나타났다으며, 실험에 사용된 면적비 A_j/A_s 의 값들 중, 면적비 A_j/A_s 가 0.32 부근에서 환형 제트 펌프의 효율이 최대로 나타났다.
- 2) 저유량, 고양정이 요구되는 경우는 노즐 수가 많은 형태의 환형 제트펌프가 유리하며, 고유량 저양정이 요구되는 경우는 노즐 수가 적은 형태의 환형 제트펌프가 적합한 것으로 판단된다.
- 3) 노즐의 직경과 노즐 길이는 환형 제트 펌프의 성능에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 직경이 2.5mm인 경우 노즐길이가 10mm일 때 가장 우수한 성능을 나타내고, 직경 5.5mm인 경우 노즐길이가 20mm일 때 가장 좋은 성능을 나타내고 있다.

본 연구로부터 얻은 이 결과들은 제트펌프와 피쉬 펌프(fish pump)의 개발에 필요한 기초 자료가 될 것으로 판단된다.

후 기

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

1. J. W. Chang, H. S. Han and G. D. Yoon, "Designing and Testing of a Fish Pump", Bull. Fish. Res. Dev. Agency. 24, pp. 67~72
2. McLam, E. T., 1990. "The Engineering of an Annular Jet Pump System," M.S. thesis, Univ-ersity of Idaho
3. Shimizu, Y., Nakamura, S., Kazuhara, S., and Kurata, S., "Studies of the Configuration and Performance of Annular type Jet Pumps", ASME Journal of Fluids Engineering, Vol. 109, pp. 205~212, 1987
4. 오병화, 권오봉, "노즐형상에 따른 환형 제트 펌프의 특성 연구", 한국어업기술학회지, Vol. 34, No. 4, pp. 442~449, 1998
5. 권오봉, 최현, 오병화, "혼합실 형상에 따른 환형제트펌프의 특성", 한국동력기계공학회지, 제 1권, 제1호 pp. 35~41, 1997
6. Joseph A. Schetz and Allen E. Fuhs., "Hand book of Fluid Dynamics and Fluid Machinery", WILEY INTERSCIENCE, pp. 2064~2067, 1996
7. 김영득, 김성구, 최상호, "유체기계", 청문각, pp. 120~121, 1995
8. 진호근, "유체기계", 대광서림, pp. 190~193, 1992
9. 전효중, "박용기계", 太和出版社, pp. 96~99, 1995
10. 하재현, 박선중, "유체기계", 문우당, pp. 307~311, 1996
11. Frank M. White, "Fluid Mechanics", McGRAW HILL, pp. 156~158, 1994
12. Elger D. F., McLam E. T. and Taylor S. J., "A new way to represent jet pump performance", ASME Journal of Fluids Engineering, Vol. 113, pp. 439~444, 1991