

● 연구 논문

혼합실 형상에 따른 환형 제트펌프의 특성

권 오 봉* · 최 현** · 오 병 화**

The Effect of Mixing Chamber on the Characteristics of Annular Jet Pump

O. B. Kwon*, H. Choi** and B. H. Oh**

Key Words : Annular Jet Pump(환형 제트 펌프), Mixing Chamber(혼합실)

Abstract

Annular jet pump can be used for the transportation of solid materials and fish. The effect of mixing chamber on the characteristics of annular jet pump is sought in this paper. Experiments were done for several reducing angles of mixing chamber, and for several throat area. Water was used for both the primary fluid and secondary fluid. A vortex was observed for the straight mixing chamber, but it was not observed for the mixing chamber whose reducing angle is 18° or higher. The efficiency curves for the annular jet pump are presented in this paper, showing the annular jet pump which has 24° reducing angle and 0.611~0.73 value of A_t/A_s . is most effective among the tested several annular jet pumps.

기호 설명

- D_s, A_s : 흡입직경 및 단면적
- D_t, A_t : 목(throat)직경 및 단면적
- D_d, A_d : 토출직경 및 단면적
- A_j, T_j : 환형제트부의 분류단면적 및 제트두께
- W_j : 환형제트의 접촉폭
- α : 혼합축소부의 축소각

- h_d, h_s : 토출양정 및 흡입양정
- Q_s, Q_d, Q_j : 흡입, 토출 및 환형제트에서의 단위 시간당 유량

아래첨자

- s : suction
- d : discharge
- j : jet
- t : throat

* 부경대학교 기계공학과

** 부경대학교 대학원

1. 서론

일반적으로 제트펌프는 많은 응용 분야에서 사용되어져 왔으며, 특히 환형 제트펌프는 비록 효율은 낮지만 고형물의 펌핑, 이송에 사용 가능하다. 예를 들어 산업체에서 생산라인의 구성요소로서 플라스틱 분말의 흡입 이송으로, 또는 농공단지 농산물 가공 단계에서 감자나 양파의 이송 수단으로서 그리고 노르웨이, 미국, 일본, 네델란드¹⁾ 등에서 고기를 퍼 올리는 수단으로 사용되고 있다. 이미 미국을 비롯한 일본 등에서는 제품으로의 단계까지 접근한 것으로 보고되고 있으나 국내에서는 아직 이 방면의 연구가 거의 없고 외국에서 수입하려는 경향이 있다. 최근의 환형제트에 관한 이론적, 실험적 연구로서 MacLam et al.²⁾과 Shimizu et al.³⁾의 연구가 보고되어 있으며, 그 내용은 전자는 주로 straight type annular jet에서 혼합부의 면적과 제트부분의 면적변화에 따른 이론 및 성능실험에 관한 것이며, 후자는 여러가지 형태의 convergent and divergent type annular jet에 관한 실험을 행하여 straight type annular jet와 비교하였다. 본 논문에서는 환형 제트 펌프에서, 어류나 기타 고형물의 이송에 적합한 흡입 형상과 여러가지 혼합실 형상에 대하여 제트 유량의 변화에 따른 제트 펌프의 성능을 구하고자 한다.

2. 환형 제트펌프의 개념

보통 많이 사용되는 제트 펌프의 개략도가 Fig. 1에 도시되어 있다. 고압의 구동유체(primary fluid)를 노즐로 압송하고, 여기에서 목(throat)을 향하여 고속으로 분사 시키면, 분류의 압력은 저압이 된다. 여기에서 분류 주위의 흡입유체(secondary fluid)는 분류에 흡입되고, 이들 제1, 제2 유체는 혼합, 충돌하면서 흡입작용을 높이고 목 부분을 통과해 나간다. 혼합된 유체는 다시 확대관(diffuser)에 들어가서 운동에너지는 압력에너지로 회수되면서 송출구로 나간다. 취급되는 유체는 제1, 제2 유체 모두 가스, 증기, 액체 등 목적에 따라 다종다양하다. 제트 펌프는 일

반 펌프에 비하여 효율 η 는 떨어지며, 12~20%⁴⁾ 정도이다. 그러나 구조에 있어서는 동적 부분이 없고 간단하며, 제작비가 싸고 취급도 용이하다. 또 전체를 내식성 재료의 구조로 하는 것도 간단히 되므로, 부식성 유체의 처리에도 널리 이용된다. 따라서 비록 효율은 낮지만, 제트 펌프는 구조가 간단하고 작동이 쉽기 때문에 여러 가지 특수한 목적으로 다양하게 사용되고 있다.

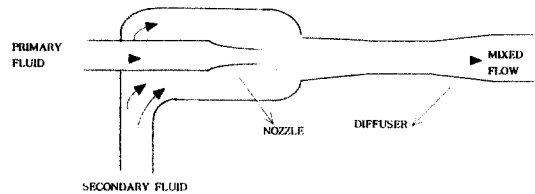


Fig. 1 General conception of ejector

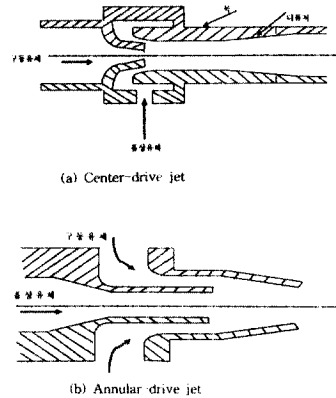


Fig. 2 Comparison of center-drive jet and annular-drive jet

Fig. 2(a)에 도시되어 있는 보통 제트 펌프는 구동유체를 중앙부에서 분사하고, 흡입유체는 그 외부에서 흡입된다⁵⁾. 즉 중심분류형 제트펌프라 할 수 있는데, 중심분류형 제트 펌프에 대하여는 많은 이론적 또는 실험적 연구 결과가 보고되어 있다. 이와는 반대로 이송되는 고형물질, 특히 어류를 이송하고자 할 때 분사되는 제트에 의하여 어류에 가해지는 손상을 최소화하기 위하여 Fig. 2(b)에서 보듯이 구동유체가 외부에서 분사되고 흡입유체가 중앙에서 흡입되는 환형의 제트도 가

능하나 그 동안 제트 펌프로써 실용화 한 경우는 중심분류 형태에 비해 거의 없는 상태이다. 종래의 중심 분류형 제트 펌프는 이송관 내에 노즐을 내부 삽입하는 구조였기 때문에 노즐 주변에 통로가 좁게 되어 고체 덩어리 등의 이송에는 적합하지 않다.

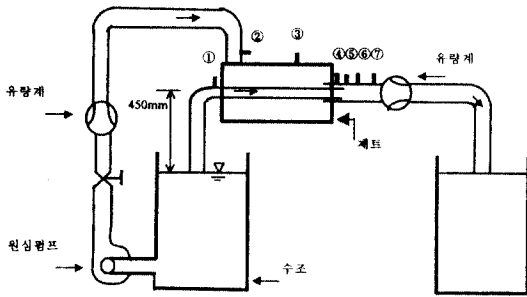


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus (①~⑦ : pressure check points)

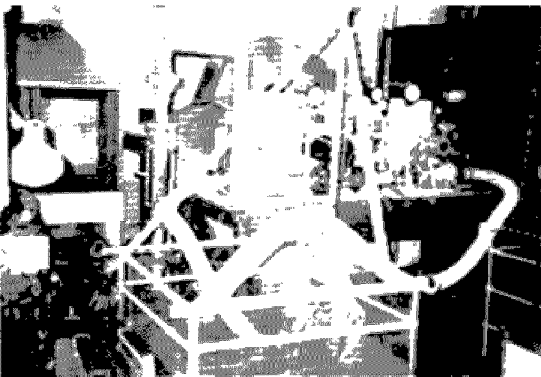


Photo 1 View of experimental apparatus

3. 실험장치 및 방법

환형 제트펌프의 실험 장치의 개략도와 전경을, 각각 Fig. 3 과 Photo 1에 보여주고 있다. Fig. 3에서 보듯이 원심펌프에서 가압된 구동유체는 유량계를 통과하여 고압실에 도달하게 된다. 이때 측정된 유량이 환형의 제트를 통하여 흐르는 유

량 Q_j 이다. 고압의 구동유체는 흡입관 외부의 노즐을 통하여 고속으로 분사된다. 구동유체의 구동력으로 인하여 흡입된 흡입유체와 구동유체는 혼합실에서 혼합되며, 혼합된 혼합수는 목(throat)부분에서 완전히 혼합되어 디퓨저를 통하여 압력을 회복한다. 디퓨저를 통과한 혼합유량, 즉 송출유량 Q_d 는 전자기 유량계에서 측정되며, 흡입유량 Q_s 는 송출유량 Q_d 와 제트유량 Q_j 의 차이로 구해진다.

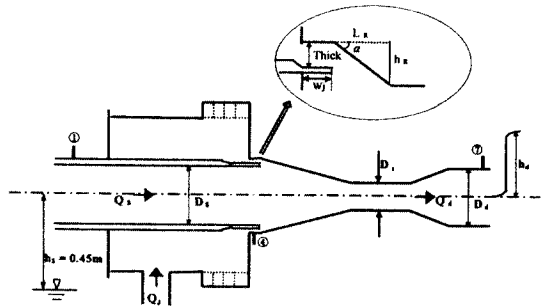


Fig. 4 Structure of annular jet(test section)

Fig. 4는 노즐 부분의 상세도를 보여주고 있다. 흡입유체에서의 고형물이 원활히 유동할 수 있는 관로 설계로서, 고형 물질의 이송에 가장 적합하고 손상이 가장 적을 것으로 추측되는 환형 제트 펌프에서 흡입과 혼합실의 면적비, 혼합실의 축소각, 유량 등을 변화시켜 최적의 성능을 구하기 위한 실험장치를 구성하였다. 환형 제트의 효율을 구하기 위하여, Fig. 3에서와 같이 압력측정공 7 점에서 압력을 측정하였으며, 그 중 Fig. 4에서의 ①, ④, ⑦ 점의 압력(벽면정압, static pressure)이 각각 흡입, 제트, 송출부의 압력 P_s , P_j 및 P_d 를 나타낸다. 실험에 의해 측정된 압력, 유량으로서의 수두를 다음과 같은 관계식⁽⁶⁾에 따라 계산해 내어 제트 펌프의 성능을 계산해 내었다.

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

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

$$H_d = \frac{P_d}{\rho g} + \frac{V_d^2}{2g} + z_d \quad (3)$$

본 연구에서는, 측정된 제트, 흡입, 토출측의 압력이 동일한 높이에서 측정되어, 위치 수두 z 는 무시될 수 있다.

구동수두는 $H_j - H_d$ 로 계산되며 토출수두는 $H_d - H_s$ 로서 구해진다. 따라서 수두비 N 은

$$N = \frac{H_d - H_s}{H_j - H_d} \quad (4)$$

그리고 유량비 M 은 다음과 같이 정의된다.

$$M = \frac{Q_s}{Q_j} \quad (5)$$

제트펌프의 효율은 제트 펌프에서 소모된 에너지와 흡입측 유동에 추가된 전체 유효 에너지 비로 정의된다. 즉, 다음의 수식으로 정의된다.

$$\eta = \frac{\gamma_s Q_s (H_d - H_s)}{\gamma_j Q_j (H_j - H_d)} = MN \quad (6)$$

여기서, γ 는 비중량이며, 모든 유체는 상온의 물로서 $\gamma_s = \gamma_j$ 이다.

본 실험은, 최대 토출유량 18m³/hr, 최대 양정 32m의 원심펌프로써 구동유체를 가압시키고, 흡입파이프와 송출파이프를 일정직경 55mm로, 흡입수두를 0.45m로 고정한 상태에서 혼합실의 축소각 α 를 0°, 18°, 24°, 30°로서, D_t 를 39mm, 43mm, 47mm, 51mm, 55mm의 목 직경에 대하여 변화하여, 여러 가지 제트 유량을 변화시켜 실험을 행하였다. 모든 파이프 재료는 시각적인 내부 유동관찰의 편의성을 위해 투명 아크릴을 사용하였다. 본 실험에 앞선 예비실험 단계에서 관찰한 바, 축소 혼합부 대신 제트노즐과의 직선부로 혼합실을 꾸며주었을 경우, 심한 와류의 발생으로 인해 이송 고형물이 관벽에 강한 충격으로 부딪히면서 정체되는 현상을 관찰 할 수 있었다. 혼합실을 적당히 축소형태로 꾸며줌으로써 와류현상을 피할 수 있었으며 18° 이상의 축소각에서 와류현상을 찾아볼 수 없었다.

4. 결과 및 고찰

Fig. 5는 제트 두께 2mm, 제트 길이 20mm, 목직경 47mm, 혼합실과 디퓨저의 길이 206.4mm, 흡입양정 450mm, 토출양정 0mm의 조건으로 축소각 0°, 18°, 24° 및 30°의 변화에서 기본적인 흡입상태를 도시했다. $\alpha=0^\circ$ 인 직선형 혼합실의 경우, 제트 유량이 9.0m³/hr 이하에서는 흡입이 되지 않고, 9.0m³/hr 이상의 제트 유량에서 흡입이 시작되어, 최초 흡입되기 위한 제트유량이 상당히 크게 요구됨을 알 수 있었다. 또한, 대부분의 제트 유량에 대해서 와류현상이 관측되었으며, 이 와류 발

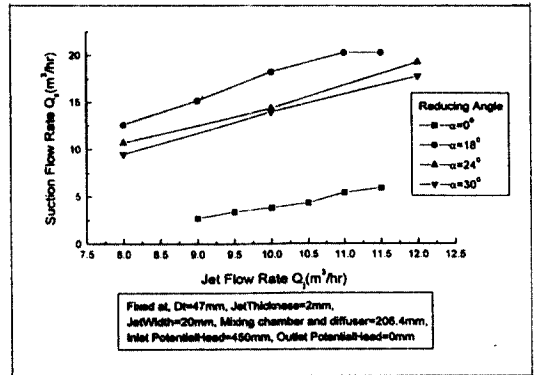


Fig. 5 Suction flow rate versus jet flow rate with various value of reducing angle α

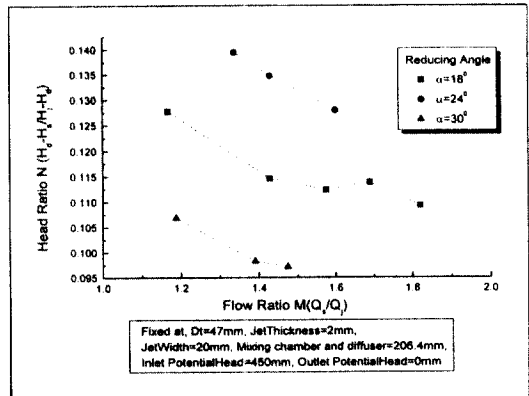


Fig. 6 Head ratio versus flow ratio curves with various values of reducing angle α

생으로 인해 흡입 시작 이후의 흡입유량이 축소형 혼합실에 비해 크게 낮았다. 전반적으로 제트 유량이 증가함에 따라 흡입유량은 증가하는 경향을 보여 주고 있다. 축소형 혼합실의 흡입유량은 축소각 18°에서 전반적으로 크게 나타났다

Fig. 6은 Fig. 5와 같은 조건으로 실험한 결과를 식(1), 식(2), 및 식(3)으로 흡입, 제트, 토출측의 수두를 계산하여, 구동수두에 대한 토출 수두의 비, 즉 수두비를 산출하여 유량비 M에 대해 나타내었다. 수두비는 모든 축소각 α 의 경우에 대해서, 유량비 M이 증가할수록 0.095~0.14의 범위에서 전체적으로 감소하는 경향을 보이고 있으며, 축소각 24°에서 가장 나은 수두비를 보여주고 있다. 흡입유량, 즉 유량비의 경우 축소각 18°에서 전반적으로 크게 나타난 데 반하여, 수두비는 축소각 24°에서 가장 높게 나타나, 제트 펌프의 성능을 가장 잘 예측하기 위하여 효율 곡선이 필요하다.

같은 조건에서의 식(6)에서 정의된 효율을 산출한 결과, Fig. 7과 같은 효율 곡선을 얻을 수 있었다. 18°~30°의 축소형태 혼합실에서는, 유량비가 증가함에 따라 전체적으로 효율이 상승하는 경향을 파악할 수 있으며 혼합실 축소각 24°일 때 전반적으로 효율이 가장 높은 것으로 나타났다. 축소각 0°인 경우, 제트 유량에 비하여 흡입되는 유량이 작아 비교적 낮은 값의 유량비에서만 효율이 표시되었고, 또한 효율도 상당히 낮게 나타났다.

Fig. 8은, 제트 두께 2mm, 제트 길이 20mm, 혼합실 축소각 24°, 혼합실과 디퓨저의 길이 206.4mm, 흡입양정 450mm, 토출양정 0mm의 조건으로 실험에서 얻은 결과, 비교적 최적의 축소각 이라고 판단되는 24°로 축소각을 고정한 상태에서 혼합수가 축소형 혼합실 입구를 통과한 후, 목의 직경을 변화했을 때의 M-N결과로서, 수두비는 목 직경 43mm~47mm의 범위에서(면적비 $A_t/A_d = 0.611 \sim 0.73$) 상대적으로 크게 나타났다. Fig. 9에서는 역시 Fig. 8의 조건으로서 일정 축소각에 대한, 목 직경에 따른 효율곡선을 비교해 보았다. 역시 유량비가 증가함에 따라 전체적으로 효율이 상승하는 경향을 파악할 수 있으며, 면적비(A_t/A_d) 0.611~0.73의 범위에서 높은 효율을 나타내었다.

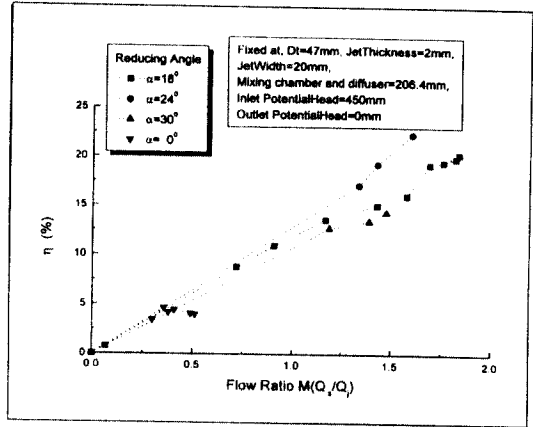


Fig. 7 Characteristic curves of annular jet pump with the four mixing chamber reducing-angles

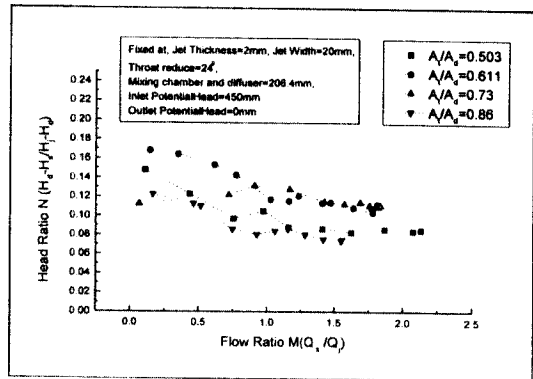


Fig. 8 Head ratio versus flow ratio curves with various values of throat thickness D_t

위에서 실험한 환형의 제트 펌프가 고형물질을 제대로 잘 이송하는지 실험을 하였으며, 성공적으로 잘 이송하고 있음을 Photo 2에서 보여 주고 있다. 제트 두께 2mm, 제트 길이 20mm, 혼합실 축소각 24°, 목직경 47mm, 혼합실과 디퓨저의 길이 206.4mm, 흡입양정 450mm, 토출양정 0mm의 조건에서, 이송속도 1.17 m/s의 속력으로 흡입 파이프를 ϕ 40mm의 고무재질 볼을 통과, 이동시키는 장면이다.

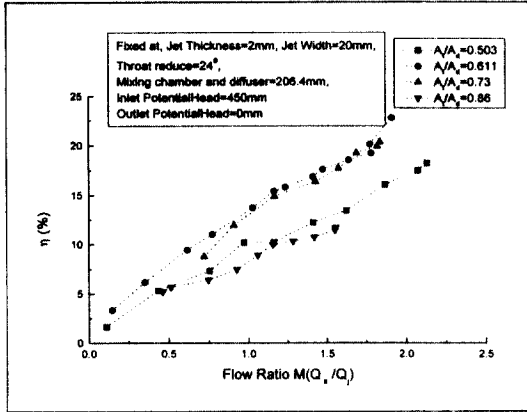


Fig. 9 Characteristic curves of annular jet pump with four area ratios

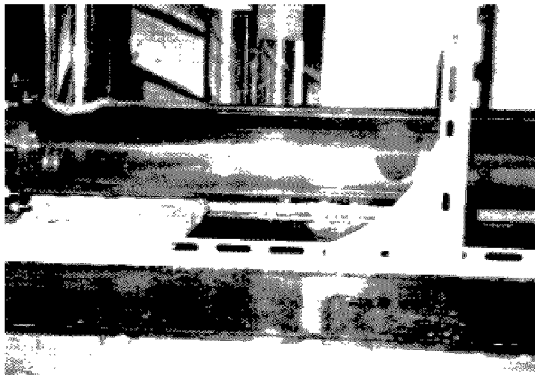


Photo 2 Suction and transportation of $\phi 40\text{mm}$ rubber ball

혼합실에서 정체되거나 관벽에 부딪치는 현상이 부드러운 이송으로 유동했으며, 고무공보다 비교적 비중이 큰 골프 공까지도 무난히 흡입, 유동시킴을 확인 할 수 있었다. 또한 본 실험장치에서 뱀장어를 이송해 본 결과도 만족스러웠다.

5. 결 론

본 실험은 고품질물이나 어류수송을 위한 환형 제트 펌프 개발의 첫 번째 단계로서 혼합실의 축

소각 α 와 목의 직경 D_t 을 변수로 하여 실험을 행하였다. 혼합실을 축소형태로 꾸며줌으로서 와류현상의 감소와 효율의 증가를 예상할 수 있었으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 축소각 0° , 18° , 24° 및 30° 에 대하여 제트의 효율을 구한 결과, 24° 에서 효율이 좋았으며, 18° 이상의 혼합실 축소각 에서는 직선 형태의 혼합실에서 심하게 발생하던 혼합실 와류현상을 볼 수 없었다.
- 2) 혼합실 목(throat) 직경을 변화하여 실험을 행하였으며, 0.611~0.73의 면적비 범위에서 효율이 높게 나타났다.
- 3) 이상으로 제트 분사 이후 부분의 구조 특성에 관한 제트의 성능을 예측하였으나, 완전한 제트의 특성 파악에는 부족하며, 혼합실 형상과 연계하여, 제트 노즐 자체 부분에 대한 보다 광범위한 연구가 필요하다.

후 기

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.

참 고 문 헌

- 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, 1980
- 2) E. T. McLam, "The Engineering of an Annular Jet Pump System," M.S. thesis, University of Idaho, 1990
- 3) 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

- 4) 하재현, 손병진, "유체기계" 보문당, pp. 202~204, 1993
- 5) I. J. Karassik et al, "PUMP Handbook" McGRAW-HILL, 4.1~4.27, 1986
- 6) F. M. White, "Fluid Mechanics." McGRAW HILL, 1994
- 7) D. F. Elger, S. J. Taylor and C. P. Liou, "Recirculation in an Annular-type Jet Pump" ASME Journal of Fluids Engineering, Vol. 116, pp. 735~740, 1994