

단단 밀폐형 원심펌프의 기액이상류 성능시험 설비

김성윤* · 이상일* · 김유택** · 김성동*** · 이용선**** · 이영호*****

Air-Water Two-Phase Flow Test Facility of a Single Stage Closed-type Centrifugal Pump

S. Y. Kim*, S. L. Lee*, Y. T. Kim**, S. D. Kim***, Y. S. Lee****, Y. H. Lee*****

Key Words : Single-stage closed-type centrifugal pump(단단 밀폐형 원심펌프), LabVIEW(랩뷰), Flow coefficient(유량계수), Head coefficient(양정계수), Net power coefficient(축동력계수), Air-water two-phase flow(기액이상류)

ABSTRACT

LabVIEW is mostly preferred to use in experiment, measurement and control as one of the useful thing in America and Europe. So, We tried performance experiment of a single-stage closed-type centrifugal pump by using the LabVIEW. The pump rpm and the shaft torque are measured by rpm sensor and torque sensor. The test pump's maximum rpm, head, kW are 1,750, 13m, and 1.5kW, respectively. The casing is made up with transparency acrylic for confirmation the flow patterns. We installed experimental equipment for air water two phase flow. This paper tries to analyze the single-phase flow characteristics through this air water two phase flow experimental apparatus. The performance results of a single-stage closed-type centrifugal pump satisfied reappearance and coincide well with head and coefficients according to the change of rpm.

1. 서론

유체기계는 유체와 기계간의 상호 에너지 변환을 행하는 것으로서 인간 생활, 산업 활동에 있어서 필요 불가결한 존재이다. 유체기계 중에서도 임펠러의 역할을 이용한 터보펌프는 상수도·하수도 사업장은 물론 우수 배제설, 화학공업용, 일반산업용 및 일반의 여러 분야에서 가장 필수적인 설비이다. 또한 저비용·고효율화라는 상반된 요구를 충족하기 위해서 소형화·고속화가 추진되면서 펌프의 흡입압력 저하에 의한 공기 흡입 및 캐비테이션 발생 가능성의 증가로 인하여 임

펠러의 손상과 케이싱의 파손 등의 많은 문제점이 발생한다. 따라서 이 방면에서의 연구도 활기를 띠기 시작했다^{(1)~(3)}. 그러나 이러한 연구의 대부분이 펌프 성능 특성에 관한 연구이며, 그 원인 규명에 대한 연구는 잘 이루어지지 않고 있는 실정이다. 또한, 실험에 필요한 장비가 고가이며 많은 인력과 시간이 소요되지는 단점으로 인하여 체계적인 실험이 명확히 시도되지 않고 단지 대학교에서 학문적 대상으로만 접근했던 것이 일반적이었다⁽⁴⁾.

한편, LabVIEW는 짧은 시간에 실험데이터를 측정하고 처리할 수 있으며, 컨트롤할 수 있는 장점으로 미국과 유럽 등 선진국이 이미 많이 사용하고 있으며, 실험데이터를 처리함에 있어 인력·시간을 효과적으로 이용할 수 있다. LabVIEW는 그래픽 방식의 프

* 한국해양대학교 대학원 기관시스템공학부

** 한국해양대학교 기관시스템공학부

*** (사)한국선급

**** (주)세원기연

***** 한국해양대학교 기계·정보공학부

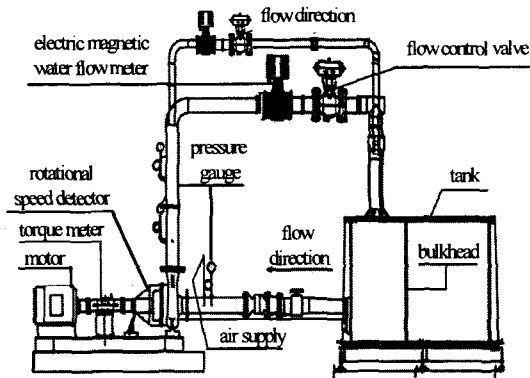
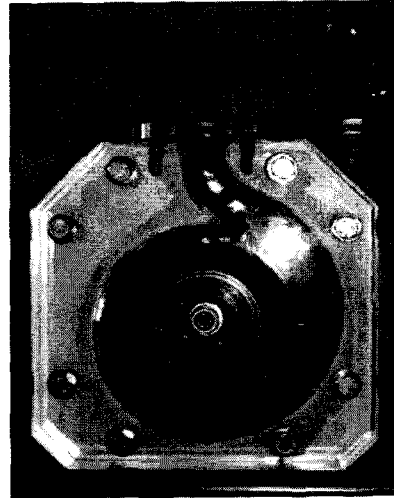


Fig. 1 Schematic view of air-water two-phase flow experiment apparatus



(a) Photograph

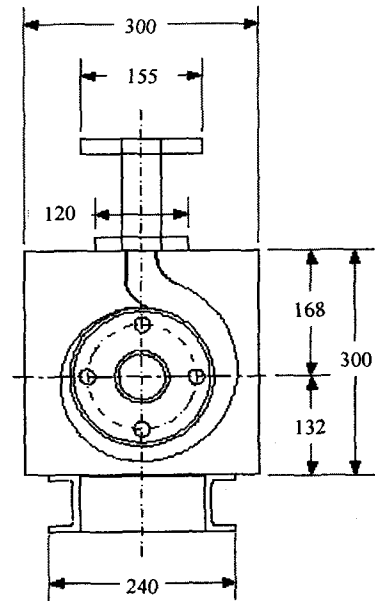
로그래밍 언어로서 어플리케이션을 작성하는데 텍스트 대신 아이콘을 사용한다^{(5), (6)}. 명령이 프로그램 실행을 결정하는 텍스트 기반 프로그래밍 언어와 달리 LabVIEW에서는 데이터의 흐름에 의해 실행이 결정되는 데이터-흐름 프로그래밍을 사용한다. 본 논문에서는 펌프 성능 특성에 미치는 여러가지 원인을 규명하고자 실험장치를 구축하는데 있어서, 많은 계측장비의 데이터 수집과 컨트롤에 필요한 인력 및 시간을 절약할 수 있는 LabVIEW를 이용하여 데이터를 수집하고 분석하였다. 또한, 실험장치를 컨트롤 할 수 있도록 프로그램 하여 소형의 단단 밀폐형 원심펌프를 대상으로 기액이상류 성능시험 설비를 구축하고, 회전수를 변수로 펌프 성능시험을 행하여 재현성, 신뢰성 및 상사치를 만족하는 것을 확인하고자 한다.

2. 실험장치 및 LabVIEW

2.1. 실험장치

본 연구에서는 Fig. 1과 같은 실험 장치를 이용하여 실험을 수행하였다. 저수탱크에 저장된 청수는 흡입관, 전자유량계를 지나 펌프 내에 유입한다. 펌프 내에서 승압된 청수는 토출 관, 유량조절밸브를 경유하여 다시 탱크내로 재순환 된다. 단단 밀폐형 원심펌프를 소형(유량 : $0.35 \text{ m}^3/\text{min}$, 양정 : 15m)과 대형(유량 : $2.5 \text{ m}^3/\text{min}$, 양정 : 18m) 두 가지 종류를 설치하였다.

Fig. 2는 소형원심펌프의 케이싱과 임펠러를 나타낸



(b) Cross-section
Fig. 2 Test pump

것이다. 임펠러의 지름은 17.5cm, 폭은 0.8cm이며, 밀폐형을 사용하였으며, 케이싱은 유체의 흐름을 가시화하기 위한 목적으로 투명한 아크릴을 사용하였다.

기액이상류시의 실험에서는 Fig. 3과 같이 공기압축기를 이용하여 공기를 만들고 정압을 형성하기 위해서 공기저장탱크 1개와 pressure regulator를 설치하였으

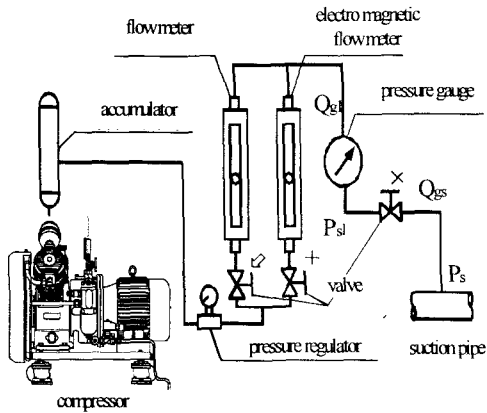


Fig. 3 Schematic illustration of air supply system

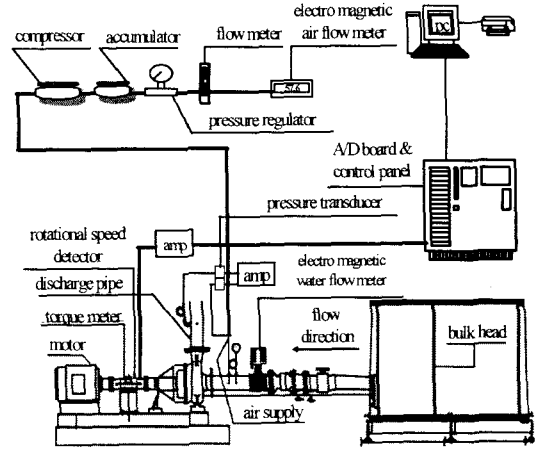


Fig. 4 Schematic illustration of pump characteristics measurement system

며, 공기유량계를 병렬로 연결하였다. 또한, 저수탱크 내 격벽을 설치하여 이상유체중의 공기를 분리시켰다.

2.2. 측정계 및 LabVIEW

측정계는 Fig. 4에 도시한 바와 같다. 액상의 유량은 흡입관에 설치된 전자유량계에서 측정하였다. 펌프의 흡입압력과 토출압력은 압력측정공과 반도체 압력변환기를 거쳐 전압치로 변환되어 앰프, A/D보드를 거쳐 컴퓨터에 기록된다. 펌프회전수는 치차와 전자픽업의 조합에 의해 검출하였고, 축 토크 검출에는 토크검출기를 이용하였다. 또한, 측정치는 초당 100개의 데이터를 평균하여 산출하였다. 유량계수와 양정계수 및 축동력계수의 계산식은 식(1), (2), (3)과 같다.

$$\text{유량계수} : \phi = \frac{Q}{AU} \text{-----(1)}$$

$$\text{양정계수} : \psi = \frac{H}{U^2/2g} \text{-----(2)}$$

$$\text{축동력계수} : \tau = \frac{L_s}{A\gamma U^3/2g} \text{-----(3)}$$

여기서, A는 임펠러의 단면적(m²), U는 상대속도(m/sec), Q는 유량(m³/min), g는 중력가속도(m/sec²), r은 비중량(kgf/m³), L_s는 축동력(W)을 나타낸다.

Fig. 5는 LabVIEW를 이용한 실험장치의 컨트롤 화면이다. 먼저 (a)부분은 자동저장과 수동저장을 할 수

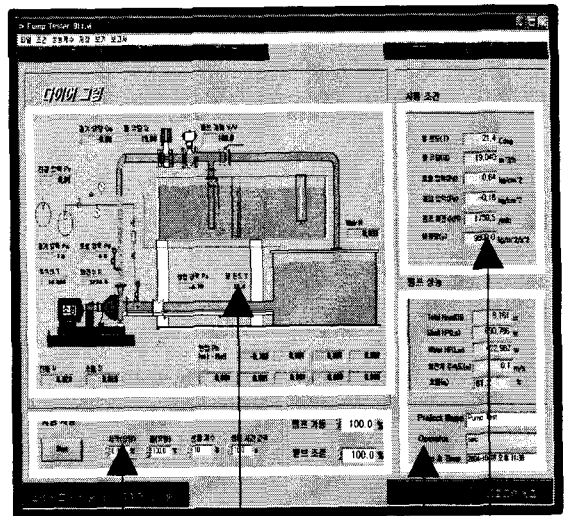


Fig. 5 Initial operating status of LabVIEW

있도록 되어있다. 또한, 시작 유량과 끝 유량은 0~100%까지 0.1% 단위로 조절이 가능하다. 자동으로 데이터를 수집할 경우 샘플 개수와, 샘플 획득 시간 간격을 지정할 수 있다. (b)부분은 실험장치에 설치되어 있는 센서의 수치를 각 부분 별로 나타내주는 것이다. (c)부분은 시험조건을 나타내준다. 이 부분은 물의 온도, 물 유량, 토출압력, 흡입압력, 펌프 회전수, 유체의 비중량을 실시간으로 알 수 있다. (d)는 펌프의 성능을 나타내준다. 이 부분은 펌프의 전양정, 축동력, 수동력 및 효율을 실시간으로 알 수 있다. 또한 펌프의 이름과 실험자 및 실험날짜와 시간을 나타내준다.

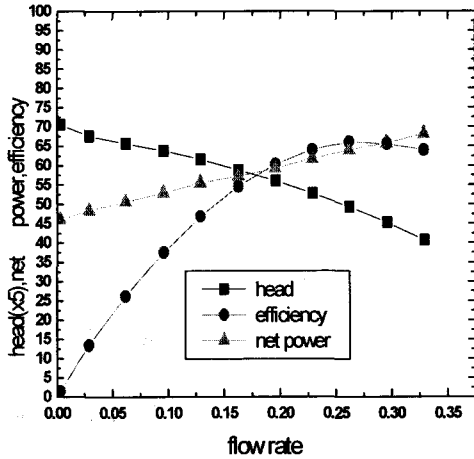


Fig. 6 Single-stage closed-type centrifugal pump performance operating in single-phase flow

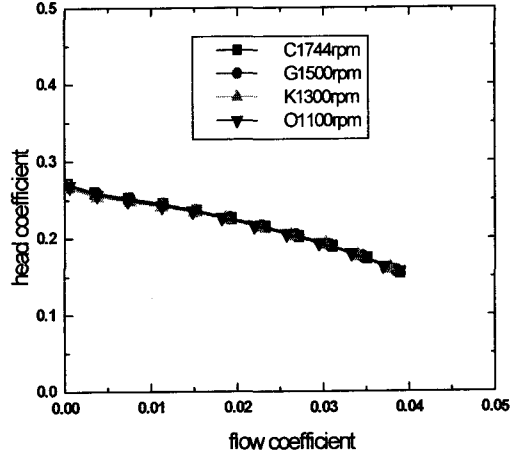


Fig. 8 Single-stage closed-type centrifugal pump head coefficient for different rotational speed operating in single-phase flow

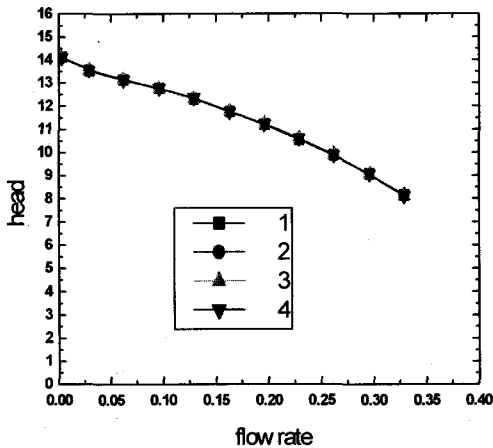


Fig. 7 Single-stage closed-type centrifugal pump characteristics for same condition(4times) operating in single-phase flow

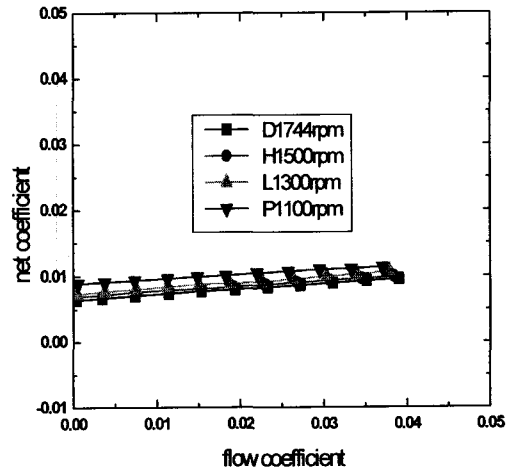


Fig. 9 Single-stage closed-type centrifugal pump net coefficient for different rotational speed operating in single-phase flow

3. 결과 및 고찰

Fig. 6은 1,744rpm에서 LabVIEW를 이용한 실험장치를 이용하여 실험한 결과를 실 유량을 기준으로 양정과 축동력 및 효율 데이터를 나타낸 것이다. 최고 효율은 유량이 0.262 m³/min에서 66.15%다. 최대 양정은 14.133m이며, 최대 축동력은 682.8W이다. 회사에서

제시한 동일 기종의 펌프성능 데이터와 비교할 경우 신뢰성을 확인할 수 있었다.

Fig. 7은 4일 동안 동일한 조건에서 4번의 실험을 한 것이다. 그 결과 값이 동일하여 재현성을 확인할

수 있었다.

Fig. 8, 9는 rpm이 1,744, 1,500, 1,300, 1,100인 경우의 각 데이터를 식(1), (2), (3)에서 제시한 계산식으로 무차원화 한 것이다. 본 실험에 사용한 펌프가 소형이기 때문에 마찰손실 등의 영향으로 각 파라미터간의 차이는 있으나 최대 4.8%의 오차 범위 내에 있어 상사치를 충분히 만족하고 있다. 따라서 본 실험이 타당하게 이루어 졌음을 확인할 수 있었다.

앞으로는 이번 실험에서 확인한 재현성과 상사치를 바탕으로 보이드율(void fraction rate)을 변수로 기액 이상류의 소형, 대형 원심펌프의 특성과 성능을 조사하고 flow pattern, bubble size, 내부의 압력측정, 가시화(PIV)등을 통하여 성능에 미치는 이들 변수의 영향을 분석하고자 한다.

4. 결론

기액이상류 실험장치를 구축하여 소형 단단 밀폐형 원심펌프를 rpm을 변수로 하여 펌프성능실험을 행하여 성능을 비교한 결과 다음과 같은 결과를 알 수 있었다.

- 1) LabVIEW를 이용하여 기액이상류 펌프성능 실험장치를 구축하였다.
- 2) 실험장치의 신뢰성과 재현성을 확인하였다.
- 3) 실험 데이터를 무차원화 하여 비교한 결과 상사치를 만족하였다.

참고문헌

- (1) 김유탉, 이영호, 2001, "터보펌프의 기액이상류 특성", 한국박용기관학회지, 제25권, 제5호,
- (2) 이종철, 김윤제, 김철수, 2000, "기-액 2상유동에 따른 원심펌프 성능변화에 대한 연구", 유체기계저널, Vol. 3-3, pp. 12~18.
- (3) You-Taek KIM, Kazuhiro TANAKA, and Yoichiro MATSUMOTO, Tip Clearance and Bubble Size of a Screw-type Centrifugal Pump Operating in Two-phase Flow, Proceedings of The Third ASME/JSME Joint Fluids Engineering Conference(1999), FEDSM99-7207.
- (4) 박한영, 김경엽 공저, "펌프핸드북", 동명사
- (5) NATIONAL INSTRUMENTS, LabVIEW7.0 Express 한글판, LabVIEW 사용자 매뉴얼
- (6) <http://www.mylv.net>