工學碩士 學位論文

벌류트 펌프의 임펠러 깃 수 변화에 따른 기액이상류 특성

Air-Water Two-Phase Flow Characteristics of Volute Pump according to the Number of Blades

指導敎授 金 由 澤

*2007*年 *2*月

韓國海洋大學校 大學院

機關시스템工學科

金 永

本 論文을 金 永의 工學碩士 學位論文으로 認准함

委員長 工學博士 南 靑 都 ㊞

委 員 工學博士 李 英 浩 ㊞

委 員 工學博士 金 由 澤 ㊞

*2007*年 *1*月 *8*日

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

機 關 시 스 템 工 學 科

金 永

목 차

Abstract

Nomenclature

제 *1* 장 서 론 ····· 1

1.1 연구배경 ····· 1

1.2 연구목적 ····· 4

제 *2* 장 기액이상류 펌프성능 실험장치 ····· 9

2.1 실험장치의 구성 ····· 9

2.1.1 실험방법 ····· 9

2.1.2 임펠러와 케이싱 ····· 12

2.1.3 측정시스템 ····· 14

2.2 실험장치 운용 프로그램 ····· 16

제 *3* 장 펌프성능 실험 장치의 재현성 및 신뢰성 검증 19

3.1 유량계의 검증 ····· 19

3.1.1 직각 3각 위어에 따른 유량 측정 ····· 19

3.1.2 전자유량계에 의한 유량측정 ····· 20

3.1.3 직각 3각 위어 및 전자유량계의 유량측정 비교 ····· 24

3.2 압력계의 검증 ····· 26

제 4 장 단상류시의 원심펌프 특성 ····· 28
4.1 임펠러 깃 수 변화에 따른 펌프특성 ····· 28
4.2 유량계수에 따른 내부 유동패턴 ····· 32

제 5 장 기액이상류시의 원심펌프 특성 ····· 36
5.1 공기공급장치의 구성 ····· 36
5.2 깃 수 변화에 따른 기액이상류시의 특성 ····· 38
5.3 기액이상류시의 유동패턴 ····· 44
5.3.1 가시화 실험장치의 구성 및 실험방법 ····· 44
5.3.2 보이드율에 따른 유동변화 ····· 45

제 6 장 결론 ····· 49

참고문헌 ····· 50

Air-Water Two-Phase Flow Characteristics of Volute Pump according to the Number of Blades

Kim Young

Department of Marine System Engineering

Graduate School of Korea Maritime University

Abstract

Mostly recent, pump operating is dealt with a problem of value in air-water two phase flow. However, it is difficult to examine a cause of performance slow down closely due to entrained air. This paper tries to analyze the single-phase flow and air-water two-phase flow characteristics according to semi-open type impellers with 3, 5, 7 blades through experimental apparatus. The casing is made up with transparency acrylic for confirmation the flow pattern. The pump rpm and the shaft torque are measured by rpm sensor and torque sensor. The test pump's maximum rpm, head, kw are 1750, 15m, and 1.5kw, respectively. The reappearance and reliance of apparatus are satisfied through an verifiable experimentation with separate ways. As a result in experiment, characteristics of single stage centrifugal pump are excellent in the order of an impeller with 7, 5,

3 blades in a single-phase flow. But the break down of pump has been happened slowly in the order of an impeller with 3, 5, 7 blades in air-water two-phase flow. Also, this paper tries to analyze flow pattern between impeller and casing in order to examine a cause of break down in air-water two-phase flow.

Nomenclature

A : 임펠러 출구의 단면적 ($㎠$)

H : 펌프의 양정 (m)

L_s : 축 동력 (W)

Q : 유량 (m^3/min)

Tc : 임펠러간극 (mm)

U : 원주속도 (m/sec)

β : 보이드율 (%)

γ : 비중량 (g/$㎤$)

η : 펌프의 효율 (%)

τ : 축동력계수

ϕ : 유량계수

ψ : 양정계수

제 *1* 장 서 론

1.1 연구배경

유체기계란 유체와 에너지를 주고받는 기계를 총칭하며 간단하게는 선풍기에서부터 복잡하게는 항공기의 터빈에 이르기까지 그 연구대상이 매우 광범위하다. 또한 유체기계는 산업현장, 가전제품, 선박에서의 송풍기, 압축기, 각종 중요 펌프 및 보조기계 등 많은 부분에서 사용되고 있으며 의학 및 첨단 반도체분야에서도 유체기계를 제외하고서는 생각하기 힘들 정도로 그 비중이 매우 높다. 이러한 이유로 고도의 신뢰성이 확보되고 성능이 매우 뛰어난 유체기계의 개발은 매우 절실하다고 할 수 있다. 최근에는 삶이 풍족해짐에 따라 성능면의 고효율화와 환경친화적인 측면의 저소음화도 매우 중요하게 다루어지고 있어 고성능 저소음의 유체기계의 개발도 가속화되고 있다.

유체기계 중에서도 액체나 기체의 유체를 관을 통하여 이송하거나 저압의 용기 속에 있는 유체를 관을 통하여 고압의 용기 속으로 압송하는 펌프가 상하수도 사업장, 우수 배제실, 화학공업용, 일반 산업용, 선박 등에서 가장 많이 사용되고 있다. 하지만 이러한 펌프들의 운전 상태는 단상류 상태에서 운전되도록 설계되어졌기 때문에 이상류 상태에서의 운전은 가급적 피하도록 고려되어 있다. 그러나 펌프 흡입파이프에 생기는 공기흡입 渦(air entraining vortex)에 의한 공기의 혼입뿐만 아니라

보일러의 급수 등과 같이 증기포를 포함하는 경우, 흡입관 접합부의 불량으로 인한 공기의 혼입, 최근에는 로켓 엔진용 터보펌프, 해양유전개발 등의 문제와 관련해서 펌프를 기액이상류 상태에서 작동시킬 필요성이 강하게 부각되고 있다.

이 때문에 과거에서부터 현재까지 기액이상류시의 유동에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며 이미 국외에서는 터보형 펌프를 대상으로 기액이상 유동에 관한 연구가 1970년대 주목받기 시작하였고 1980년대에 와서는 이상류시의 운전가능 한계에 관한 문제가 클로즈업되었다. 1981년에는 Kaneko와 Ohashi가 Fig.1과 같이 Vertical-type의 원심펌프를 대상으로 공기의 흡입이 유동변화에 어떠한 영향을 미치는 지에 관해 분석하였다.[1] 또한 1988년 Minemura와 Murakami는 Fig.2와 같이 일반적인 Horizontal-type의 벌류트 원심펌프를 대상으로 공기흡입에 의한 영향이 성능변화와 유동상태에 어떠한 영향을 미치는 지를 연구하였으며,[2] 그들은 공기의 흡입으로 인하여 펌프의 성능은 불연속적으로 변한다고 보고한 바 있다. 더욱이 일반적인 원심펌프에서는 보이드율이 5~6% 이상이 되면 펌프의 성능이 급격히 감소한다고 보고하고 있으며[3](Furukawa et al., 1977), 1999년 Kim은 Fig.3과 같이 Screw-type 원심펌프를 대상[4]으로 임펠러 간극 및 보이드율, Fig.4와 같이 케이싱 유로의 압력측정, 유동패턴 등을 통하여 양수불능의 특성을 분석하였다.[5],[6]

그러나 이러한 터보기계내의 이상류는 직관내의 이상류와 비교하여 유속이 빠르고, 압력구배가 크며, 유동양식이 매우 복잡하기 때문에 다량의 공기흡입으로 인해 발생되는 성능곡선의 불규칙적인 변화, 불연속

점 발생, 불연속점과 유량과의 관계, 양수불능 상태 등 펌프성능이 저하되는 손실 부분을 완전하게 정량화 하지 못하여 성능변화에 미치는 내부유동패턴, 압력분포, 기포경, 보이드율 등의 원인을 정량적으로 명확하게 규명하는 데에는 어려움이 따르고 있으며 해결되어야 할 많은 과제를 가지고 있다.

1.2 연구목적

다량의 공기흡입으로 인해 발생되는 성능곡선의 불규칙적인 변화, 불연속점 발생, 불연속점과 유량과의 관계, 양수불능 상태 등 펌프성능이 저하되는 손실 부분을 정량화하기 위해서는 유속, 압력구배, 케이싱 내 유동패턴, 임펠러 간극, 보이드율, 기포경 등 다양한 변수가 단상류 및 이상류시 펌프특성에 정성적·정량적으로 어떠한 영향을 미치는지 파악하여야 한다.

본 논문에서는 펌프의 성능이 저하되는 손실부분을 정량화하기 위한 기초 연구로서, 1) 기액이상류시의 성능특성을 측정할 수 있는 실험 장치를 구축하여 실험장치의 신뢰성 및 재현성의 검증을 통해, 2) 단단 벌류트 원심펌프를 대상으로 동일한 조건에서 깃 수(3깃, 5깃, 7깃)에 따른 단상류시의 성능특성을 비교·검토하고, 3) 이상류시 보이드율을 변수로 하여 공기흡입이 펌프의 성능 및 특성에 정성적·정량적으로 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 한다. 또한 4) 가시화 실험을 통하여 케이싱내부의 유동패턴이 성능특성에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

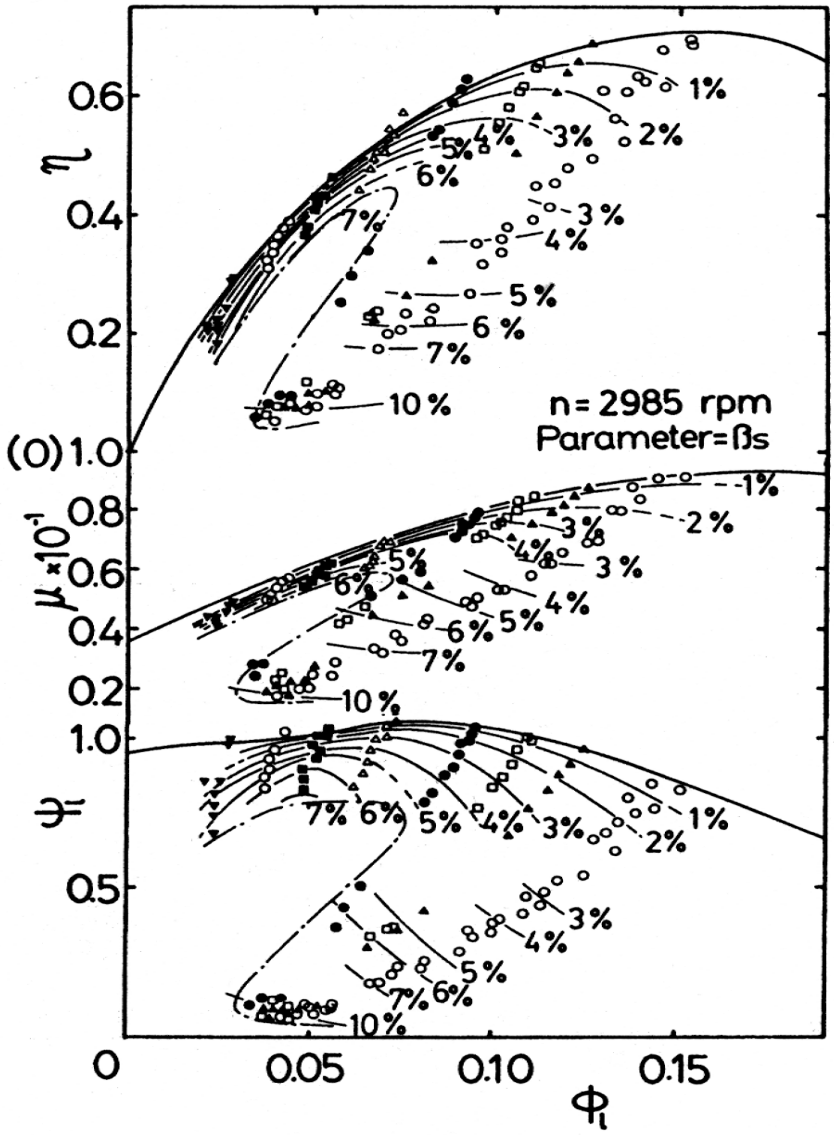


Fig.1 Characteristics of vertical-type centrifugal pump in air-water two-phase flow according to void fraction[1]

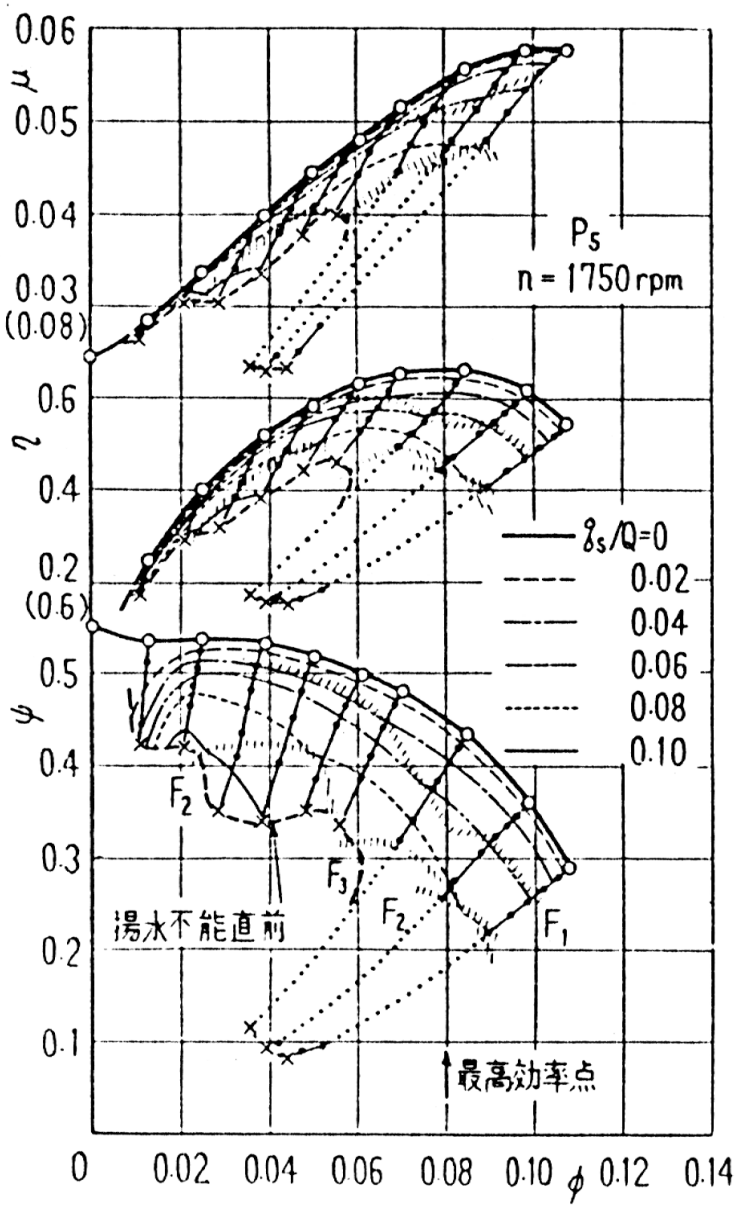


Fig.2 Characteristics of horizontal-type centrifugal pump in air-water two-phase flow according to void fraction[2]

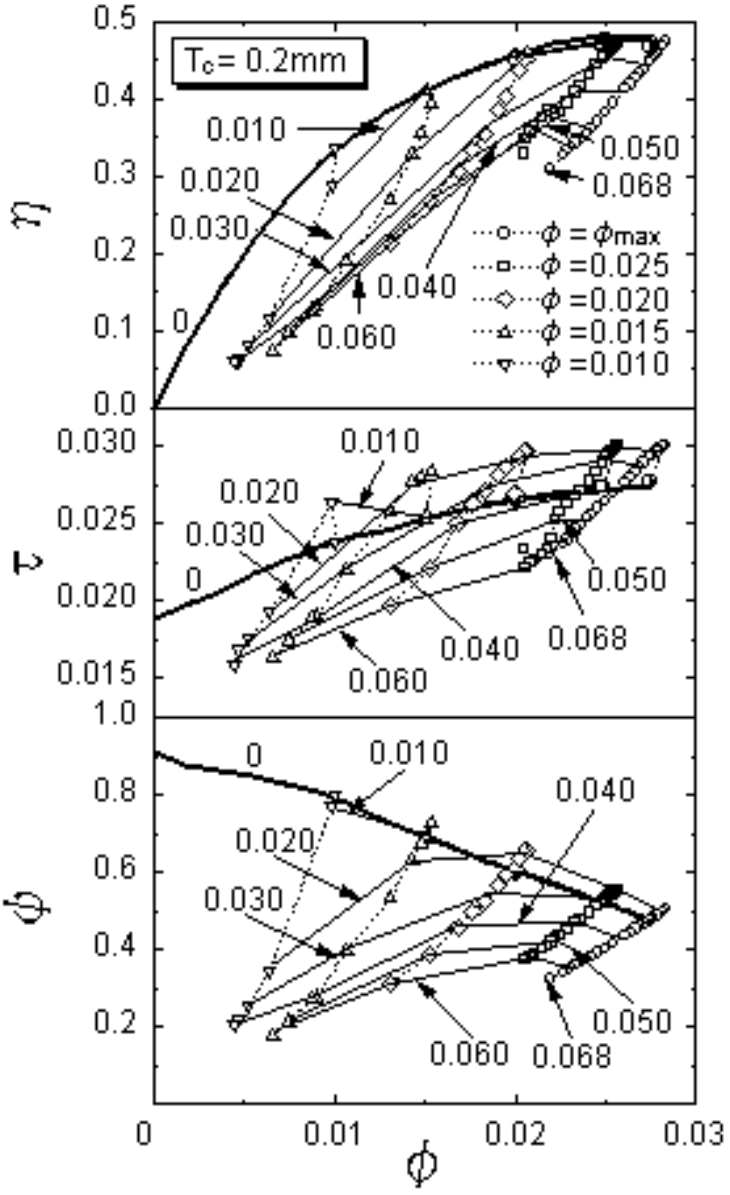
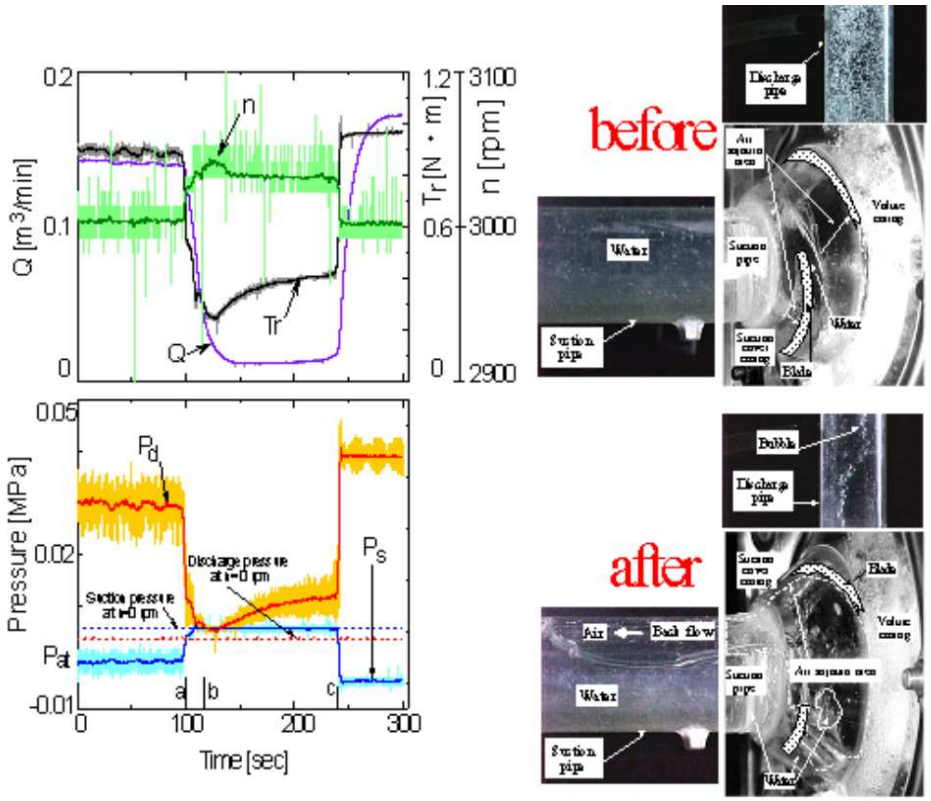


Fig.3 Characteristics of screw-type centrifugal pump in air-water two-phase flow according to void fraction and tip clearance[4]



(a) pump characteristics (b) visualization

Fig.4 Pump characteristics and visualization of screw-type centrifugal pump (before and after break down)[5][6]

제 2 장 기액이상류 펌프성능 실험장치

2.1 실험장치의 구성

2.1.1 실험방법

본 논문에서는 Fig.5, 6과 같은 실험 장치를 이용하여 실험을 수행하였다. 동일한 조건에서 실험을 하기 위하여 저수탱크에는 1.5m^3의 청수를 저장하였고 중앙에는 청수가 유입되는 과정에서 자연스럽게 발생하는 공기를 제거하기 위해서 공기 분리 판을 설치하였다. 또한 단단 밀폐형 원심펌프 소형(유량 : 0.25m^3/min, 양정 : 11.5m)과 대형(유량 : 2.5m^3/min, 양정 : 18m)을 설치하여 두 펌프의 상사치를 비교할 수 있도록 하였다.

전자유량계는 KS 규격에 따르면 펌프실험 장치에서 토출 측에 설치하도록 되어있으나[7] 이상류 상태에서는 공기의 유입으로 인하여 토출측에서 유량변화의 폭이 너무 심해서 정확한 유량 값을 얻을 수 없으므로, 정확한 유량 값을 측정하기 위해서 흡입 측과 토출 측에 각각 전자유량계를 설치하여, 단상류 실험에서는 토출 측에서 측정하고 이상류 실험에서는 흡입 측에서 측정하였다.

펌프를 기동하게 되면 저수탱크에 저장된 청수는 흡입관 및 전자유량계를 지나 펌프 내에 유입되고 펌프 내에서 승압된 청수는 토출 관, 유

량조절밸브를 경유하여 다시 탱크내로 재순환된다. 이러한 재순환되는 과정에서 유량, 회전수, 축 토크, 흡입압력, 토출압력 등을 측정하였다.

Fig.5 Picture of air-water two- phase flow experimental apparatus

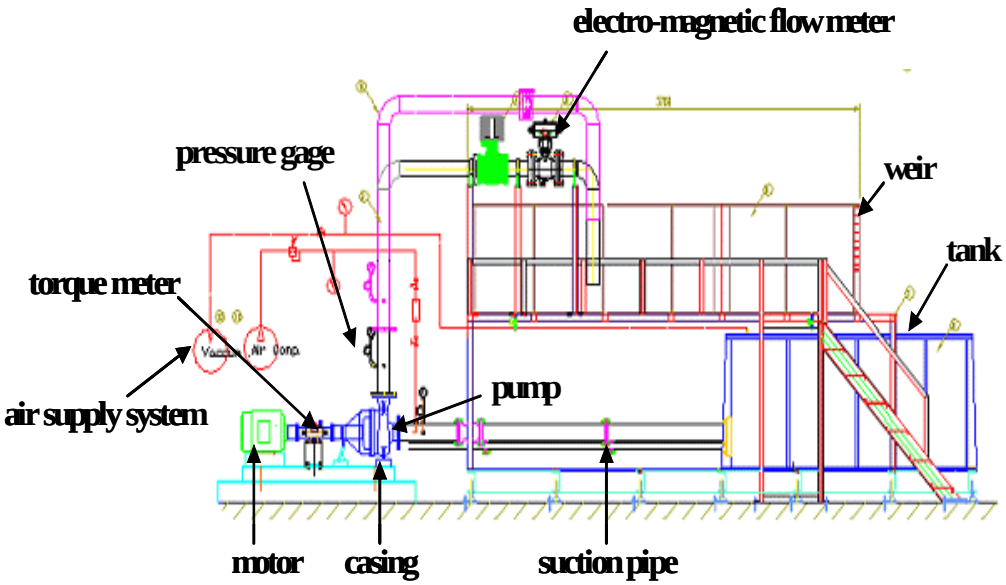


Fig.6 Schematic view of air-water two- phase flow experimental apparatus

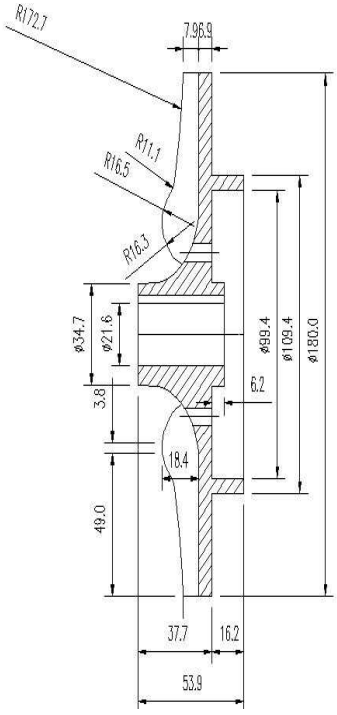
2.1.2 임펠러와 케이싱

Fig.7은 소형원심펌프의 임펠러와 케이싱을 나타낸 것이다. 임펠러는 Fig.7 (a), (b), (c)와 같이 반 개방형 임펠러로서 지름은 180mm, 폭은 7.9mm로 동일하고 깃 수가 3, 5, 7로 서로 다른 3차원 유선형이다. 케이싱과 임펠러는 내부의 유동을 확인하고자 투명 아크릴을 이용하여 제작하였고 케이싱은 원래 구입당시의 케이싱을 기준으로 NC가공 하였다.[8]

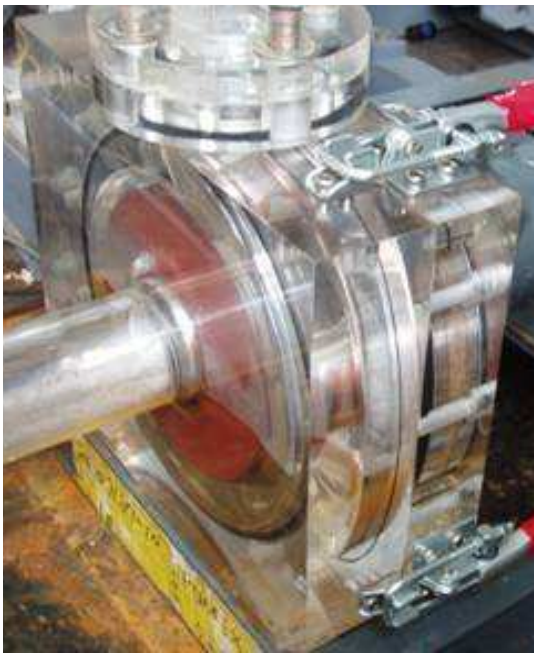
(a) 3blade impeller

(b) 5blade impeller

(c) 7blade impeller



(d) diagram of impeller



(e) acrylic casing

Fig.7 Pictures of tested impeller and casing

2.1.3 측정시스템

측정시스템은 Fig.8에 도시한 바와 같이 액상의 유량을 흡입관에 설치된 전자유량계에서 측정하였고 펌프의 회전수는 치차와 전자 픽업의 조합에 의해 검출하였다. 또한 축 토크 검출에는 토크검출기를 이용하였다. 펌프의 흡입압력과 토출압력은 압력측정공과 반도체 압력변환기를 거쳐 전압 치로 변환되어 앰프, A/D보드를 거쳐 컴퓨터에 기록되며 측정치는 초당 100개의 데이터를 평균하여 산출되어진다. 유량계수와 양정계수 및 축 동력 계수의 계산식은 식 (1), (2), (3)과 같다.

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

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

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

여기서, A는 임펠러의 단면적(m^2), U는 원주 속도 (m/sec), Q는 유량(m^3/sec), g는 중력가속도(m/sec^2), γ은 비중량(kg_f/m^3), L_s는 축 동력(W)을 의미한다.

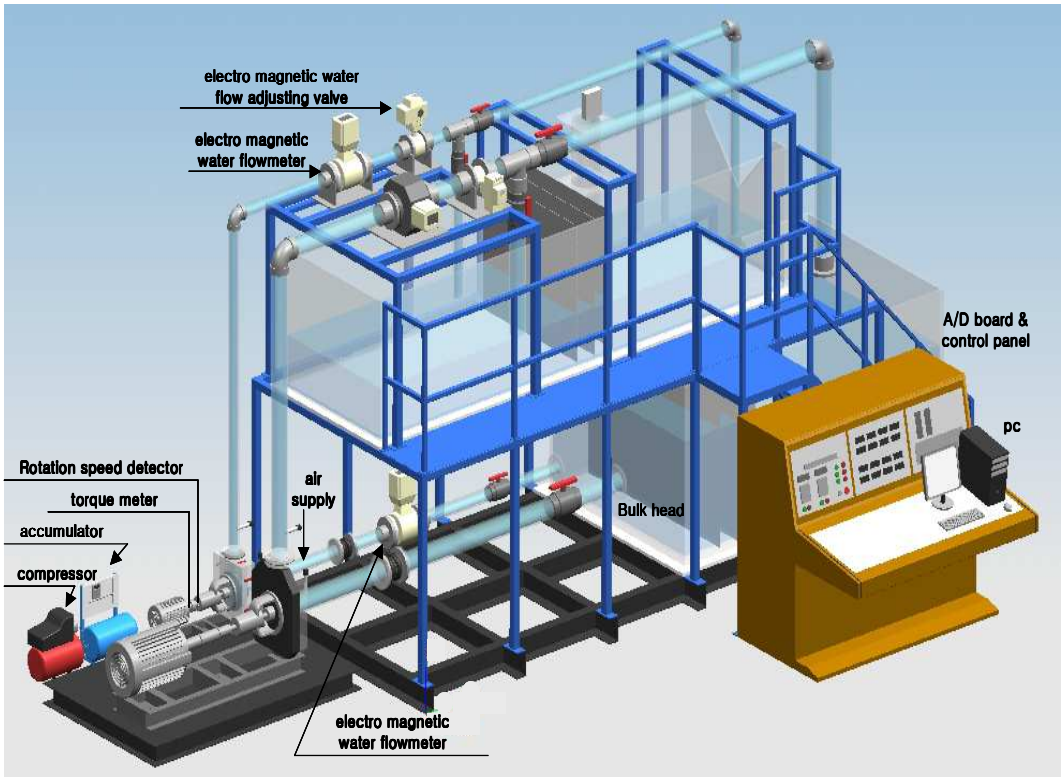


Fig.8 Schematic illustration of pump characteristics measurement system

2.2 실험장치 운용 프로그램

기액이상류 실험장치의 제어에는 제어해야 할 모든 주변기기를 PC상에서 통합 제어할 수 있도록 편리성을 제공하는 LabVIEW 7.0 프로그램을 이용하였다. 이 프로그램은 짧은 시간에 실험데이터를 측정하고 처리할 수 있으며, 컨트롤 할 수 있는 장점 등으로 선진국에서 이미 많이 사용하고 있으며, 데이터를 처리함에 있어 인력 및 시간을 효과적으로 이용할 수 있다. 또한 Fig.9와 같이 실시간으로 흡입압력, 토출압력, 유량, 양정, 토크, 보이드율, 축 동력, 수 동력, 효율, 회전속도, 물의 온도 등의 데이터를 나타내주고 장치의 호환에 따른 rpm 조정, Large, Small Pump의 기동과 정지, 전자유량조절밸브의 개폐량을 미세하게 조절할 수 있다. 펌프의 기동은 초기화면에서 0%로 되어있고 rpm 및 시작유량, 끝 유량은 0.1% 단위로 조정할 수 있으며 각종 데이터를 수동 또는 자동으로 저장할 수 있고 자동저장을 하게 되면 실험동안에 저장된 데이터를 Fig.10과 같이 그래프 화하여 유량 변화에 따른 축 동력, 양정, 효율 등의 변화를 한눈에 알아볼 수 있게 해주며 커브 피팅을 했을 경우에는 보다 부드러운 곡선의 그래프를 볼 수 있다.

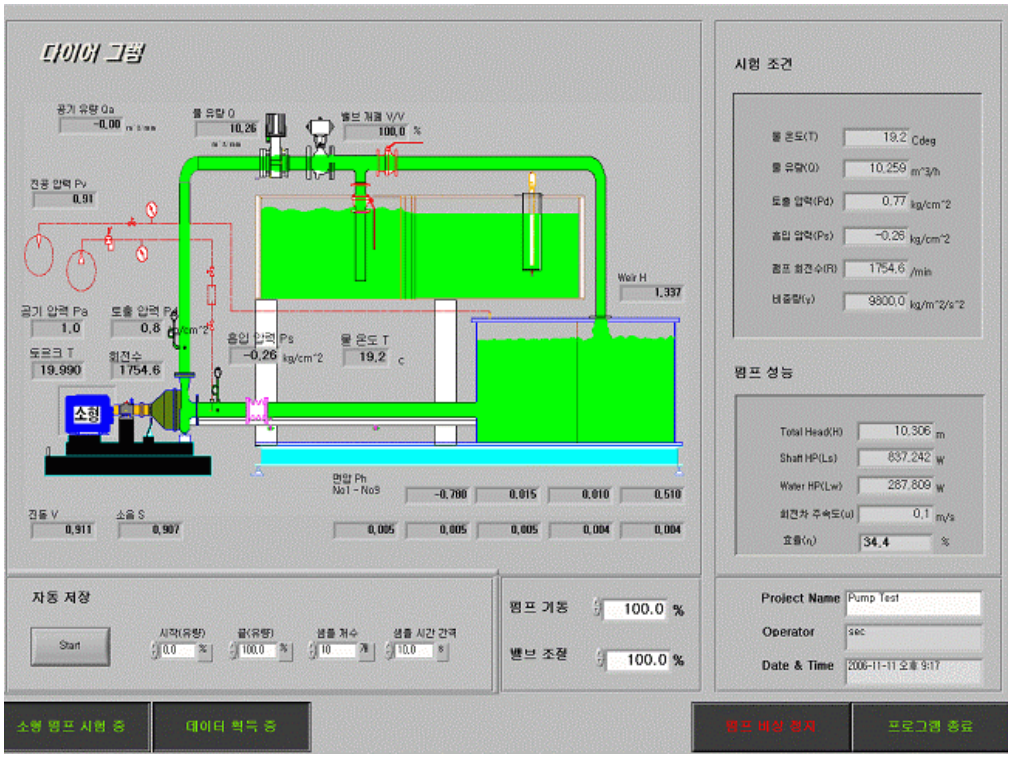
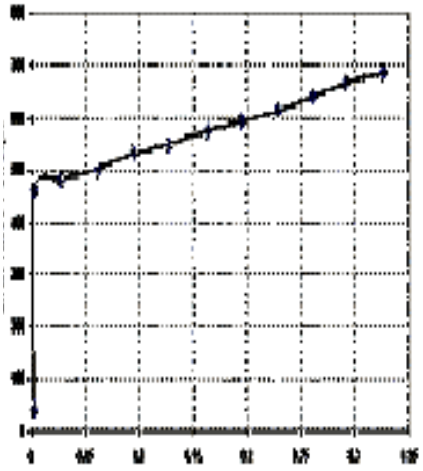


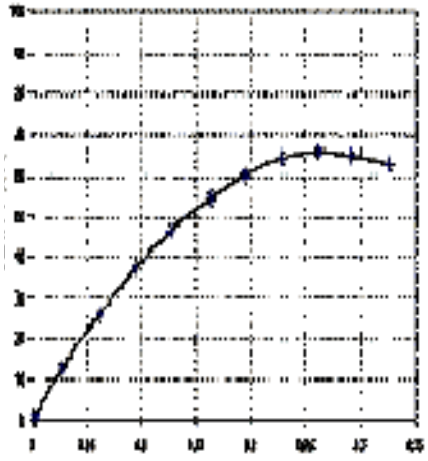
Fig.9 Initial screen after starting LabVIEW

No.	I (A)	T_w (degC)	Q (m^3/min)	P_d (m)	P_s (m)	N (rpm)	H (m)	L_s (W)	L_w (W)	η (%)
0	0.000	NaN	0.022	0.085	-0.952	66.6	10.374	4.553	37.609	0.01

(a) Pump test report



(b) Shaft horse power vs flow rate



(c) Efficiency vs flow rate

Fig.10 Test report

제 3 장 펌프성능 실험 장치의 재현성 및 신뢰성 검증

본 실험에서는 장치의 신뢰성 검증을 위해 직각 3각 위어에 의해 얻어진 값과 전자유량계에서 얻어진 값을 비교하여 유량계를 검증하였고 디지털 압력게이지는 아날로그 압력게이지와 비교하여 검증하였다.

3.1 유량계의 검증

3.1.1 직각 3각 위어에 따른 유량 측정

위어는 위어 판, 지지 판 및 수로로 구성된다. 유량 계산은 다음과 같이 한다.

3각 위어 : $Q = Kh^{\frac{5}{2}}$

여기에서 Q : 유 량(m^3/min)

h : 위어의 양정(m)

K : 유량 계수

$$= 81.2 + \frac{0.24}{h} + (8.4 + \frac{12}{\sqrt{D}})(\frac{h}{B} - 0.09)^2$$

B : 수로의 폭(m)

D : 수로 바닥 면에서 노치 점까지의 높이(m)

이 계산식의 적용 범위는 다음과 같다.

B=0.5-1.2m

D=0.1-0.75m

H=0.07-0.26m(또는, h=B/3 이하)

3.1.2 전자유량계에 의한 유량측정

전자유량계는 페러데이의 전자유도 법칙을 이용한 방식으로 Fig.11 과 같이 비전도성 물질인 stainless steel tube를 내장하고 있다. Tube의 외면에는 2개의 DC전원의 전자기식 코일이 각각 배관을 중심으로 서로 마주보도록 설치되어 있으며, 이러한 코일에 수직으로 2개의 전극이 튜브 안쪽으로 위치하여 있다. 코일에 전원이 가해지면, 관경을 따라 마그네틱 자장이 형성되고, 이때 자장이 형성된 배관을 전도도를 가진 유체가 통과하게 되면, 전극을 통하여 전압이 유도된다. 이러한 전압은 유체의 평균 유량속도 값에 직접적으로 비례하는 값으로 나타나게 되며, 이를 2개의 전극을 통하여 측정한다. 이 유도된 전압은 변환기 디지털 방식의 증폭과정과 가공과정을 거쳐 정밀한 아날로그 또는 디지털 신호를 발생하게 된다. 이 신호는 유량 값, 적산 값을 표시할 뿐만 아니라, 검출기와 변환기의 분리형인 경우에도 사용이 가능하다.[9]

본 실험에서 사용한 전자 유량계는 Fig.12의 FM-100MG series로서 사양은 표 1과 같다.

Table 1. Technical data of electro-magnetic flow meter(FM-100MG series)

Main Part		Technical Specification
METER SIZE		일체형 DN20-DN300 (3/4"-12") (OPTION : 분리형)
FLANGE		KS 10K (OPTION : ANSI, DN 등)
측정 대상		상수, 하수, 폐수 및 지하수 등 전기전도도 5 μS/cm 이상인 모든 유체
측정 방식		Pulse DC field 방식의 전자기 측정 방식
측정 유속 범위		0.1 m/s～10m/s (turndown ratio 100:1)
오차 범위		±5% of SPAN (OPTION : ±0.25% of SPAN)
동작 온도		-20도～+80도
DISPLAY		20CHAR×2LINE TEXT LCD with LED backit
		순간유량, 순간유속, 적산유량, 적산시간
재질	라이닝	HARD RUBBER, CERAMIC
	전극	SUS316, Hastelloy C4, 백금, 티타늄
	본체	SUS316, SUS304, STEEL 및 알루미늄 다이케스팅
출력 신호	CURRENT	4-20mA
	PULSE	DC 15V Pulse or Open Collector
	STATUS	Low/HI LIMIT (OPTION)
	DIGITAL	RS-232 (OPTION)
전원	공급전원	110/220V AC, 60Hz (OPTION : 220/240V AC, 50Hz)
	소비전력	21VA
보호등급		IP65 또는 NEMA 4 and 4X

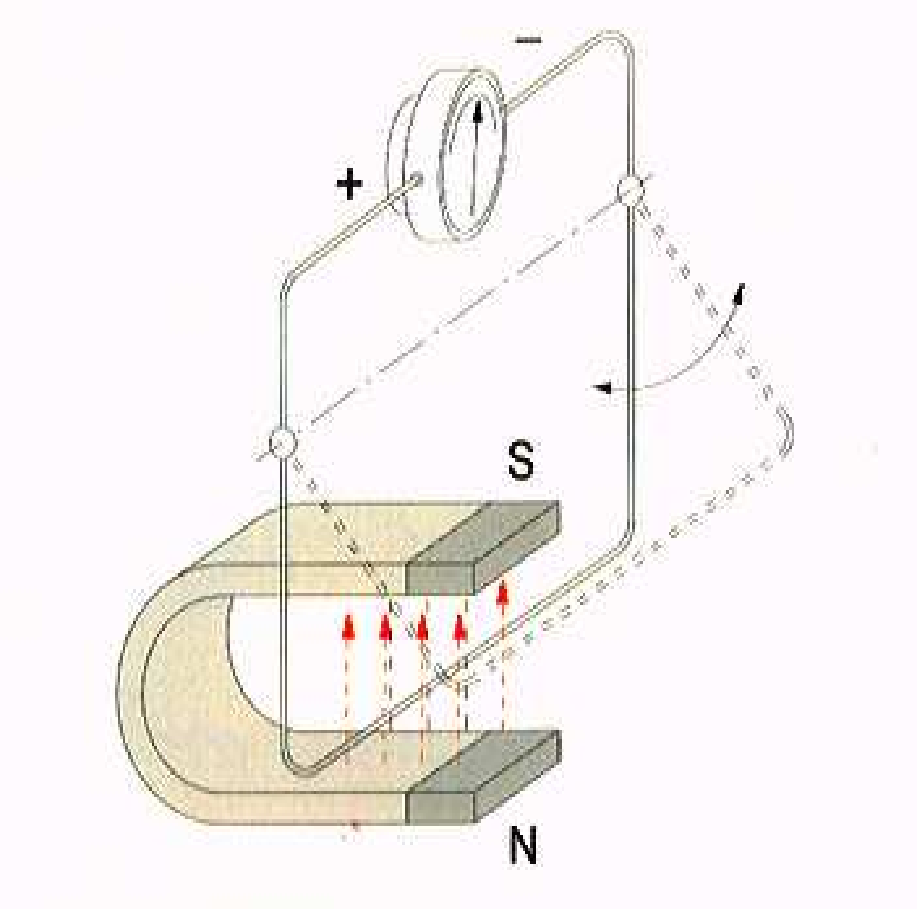


Fig.11 Principle of electro-magnetic flow meter

Fig.12 Picture of electro-magnetic flow meter(FM-100MG series)

3.1.3 직각 *3*각 위어 및 전자유량계의 유량측정 비교

표 2는 전자유량계의 신뢰성을 검증하기 위하여 전자유량계로부터 얻은 데이터와 직각 3각 위어의 실험을 통하여 얻은 데이터를 비교한 것이다. 또한 Fig.13은 데이터로부터 얻은 측정값을 그래프화한 것으로 데이터를 비교해 보면 유량이 0.261m^3/min를 기준으로 이보다 더 큰 유량에서는 위어와 전자유량계의 측정값은 1.53% 미만이지만 유량이 적어질수록 그 차이가 점점 커지는 것을 알 수 있었다. 또한 유량이 0.032m^3/min이 되는 지점에서는 위어와 전자유량계의 측정값의 차이는 2.14%까지 증가하는 것을 볼 수 있었다. 측정값의 차이가 가장 큰 최저 유량점의 위어의 유량은 0.0327m^3/min이며, 전자유량계의 유량은 0.032m^3/min으로서 전자유량계와 직각 3각 위어는 97.86%의 정확도를 보였다

실험장치의 구조상 배관의 굴곡과 배관의 재질에 의한 마찰 및 유체의 온도에 의한 밀도차 등을 고려해 본다면 2.14%의 측정값 차이는 충분히 신뢰성을 만족한다고 볼 수 있다.

Table 2. Data of compare electro-magnetic flow meter with weir

Valve open degree(%)	*weir(㎥/min) A*	*electro-magnetic flow meter (㎥/min) B*	$\frac{(A-B)\times 100}{A}$
16	0.0327	0.032	2.14
23	0.0674	0.066	2.08
28.7	0.096	0.094	2.08
34.6	0.1305	0.128	1.92
39.5	0.162	0.159	1.85
44.5	0.1955	0.192	1.79
49.6	0.229	0.225	1.75
55.7	0.261	0.257	1.53
64	0.2935	0.289	1.53
100	0.326	0.321	1.53

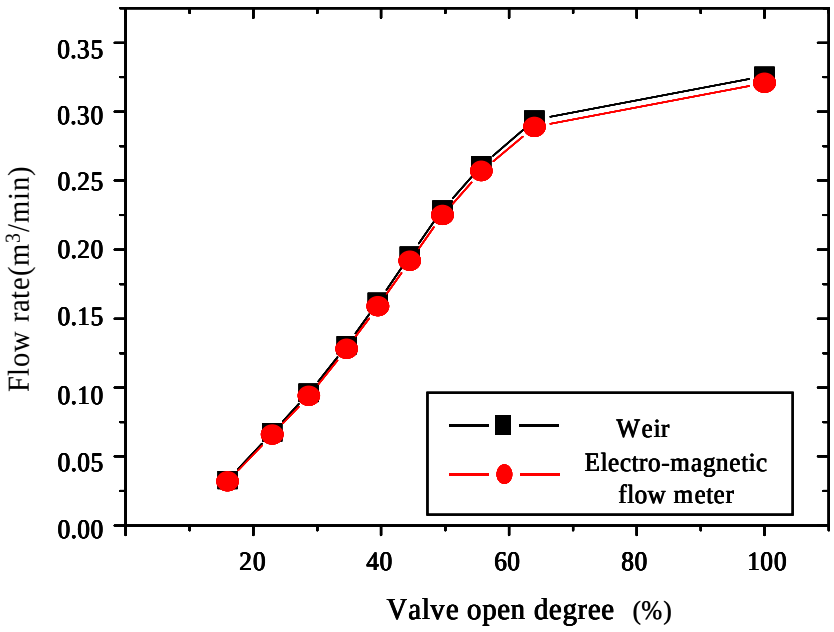


Fig.13 Graph of compare electro-magnetic flow meter with weir

3.2 압력계의 검증

표 3은 디지털압력계의 검증을 위해 아날로그압력계를 부착하여 얻은 각각의 데이터로서 이를 그래프로 나타내면 Fig.14와 같다. 압력계의 검증실험에 의하면 각각의 유량에서 오차범위가 불규칙 하였고 유량이 0.289m^3/min인 지점에서 최대 1.76%의 오차를 보였다. 아날로그 압력계를 부착하여 눈금을 읽은 것을 고려한다면 충분히 신뢰성을 만족한다고 할 수 있다.

Table 3. Data of compare analog pressure gauge with digital pressure gauge

Flow rate (㎥/min)	**Digital pressure gauge (㎏/㎠) : A**	**Analog pressure gauge (㎏/㎠) : B**	**$\frac{(A-B)\times 100}{A}$**
0.002	1.294	1.28	1.08
0.032	1.262	1.25	0.95
0.066	1.240	1.23	0.81
0.094	1.201	1.2	0.08
0.128	1.146	1.13	1.4
0.159	1.033	1.02	1.26
0.192	1	0.98	2
0.225	0.904	0.9	0.4
0.257	0.796	0.79	0.75
0.289	0.682	0.67	1.76
0.321	0.559	0.55	1.6

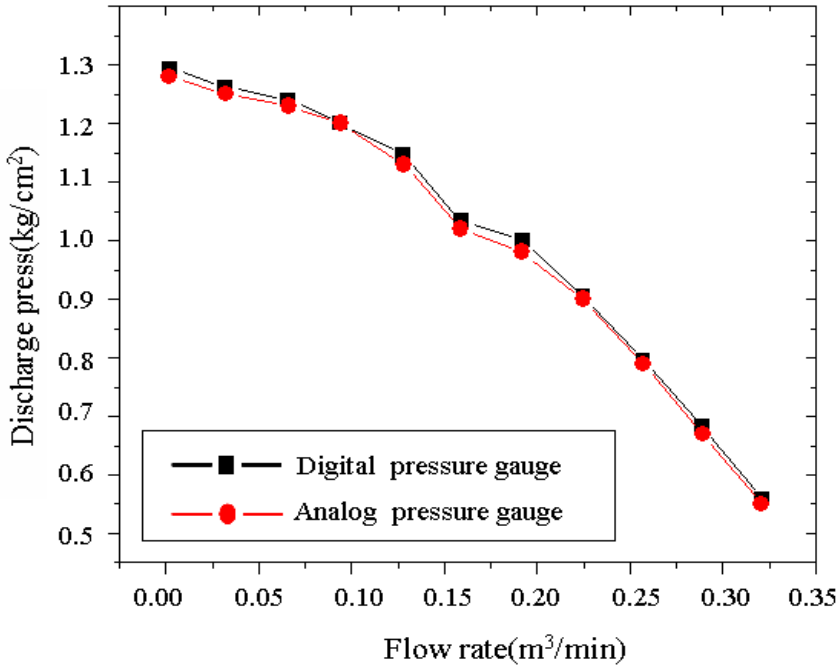


Fig.14 Graph of compare analog pressure gauge with digital pressure gauge

제 *4* 장 단상류시의 원심펌프 특성

4.1 임펠러 깃 수 변화에 따른 펌프특성

Fig.15는 임펠러의 지름과 깃의 폭이 동일한 조건에서 임펠러 간극을 1mm로 하고 임펠러의 깃 수를 변수로 단상류시의 펌프의 특성을 무차원화한 성능곡선이다. 성능곡선에서 깃에 따른 특성을 비교해보면 단상류시 깃 수가 많을수록 효율, 축 동력, 양정특성이 우수하였고 각각의 깃에 있어서 유량계수가 증가할수록 양정계수, 축 동력 계수, 효율 등의 차이는 더 커졌다. 그림은 3깃 임펠러를 기준으로 하여 양정, 축 동력, 효율 등에서 (3깃과 5깃), (3깃과 7깃)의 계수 차를 알아보고자 한 그래프로서 3깃과 7깃의 특성 차는 비교적 완만한 곡선을 가지는 반면 3깃과 5깃의 경우에는 불규칙한 변화 값을 보였다. 유량계수가 증가할수록 각각의 특성차가 점점 커지는 것을 알 수 있었고 최고 효율 점에서 그 차가 가장 컸으며 최고 효율 점을 지나 과유량 지점에서는 오히려 특성 값의 차가 소폭으로 감소하였다. 최고 효율 점은 3깃 임펠러의 경우 59.6%, 5깃 임펠러의 경우 63.52%, 7깃 임펠러의 경우 64.4%로서 5깃과 7깃에 비해 3깃 임펠러가 다소 큰 차이를 보였다. 또한 Fig.16은 3깃, 5깃, 7깃 임펠러의 특성을 무차원화하여 3깃의 특성 값을 기준으로 하여 3깃과 5깃, 3깃과 7깃의 특성 값 차를 비교한 그래프로서 유량이 증가할수록 특성 값의 차이가 소폭으로 상승하였지만 3깃과 5깃의 경우에는

그 변화가 조금 불규칙하였다. 또한 최고 효율 점에서는 3깃과 5깃, 3깃과 7깃의 특성 차 값이 가장 컸으며 과유량 지점에 도달하자 최고 효율 점에서 보다 그 차가 소폭 줄어들었다.

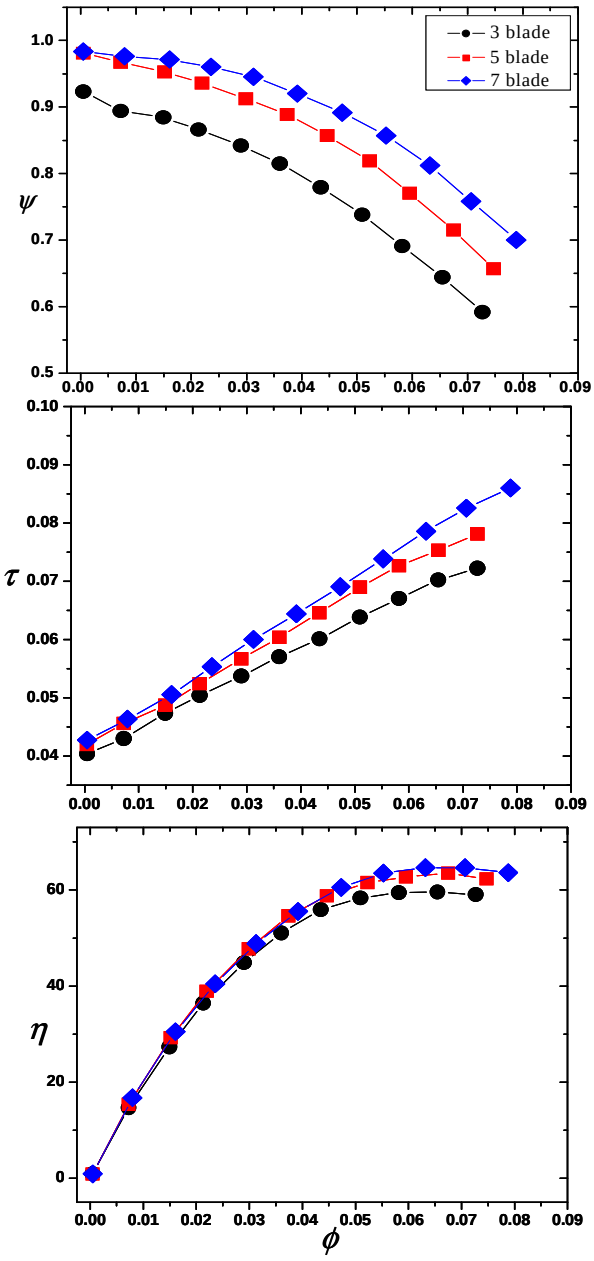


Fig.15 Performance of single-stage semi open-type centrifugal pump in single-phase flow according to the number of blades

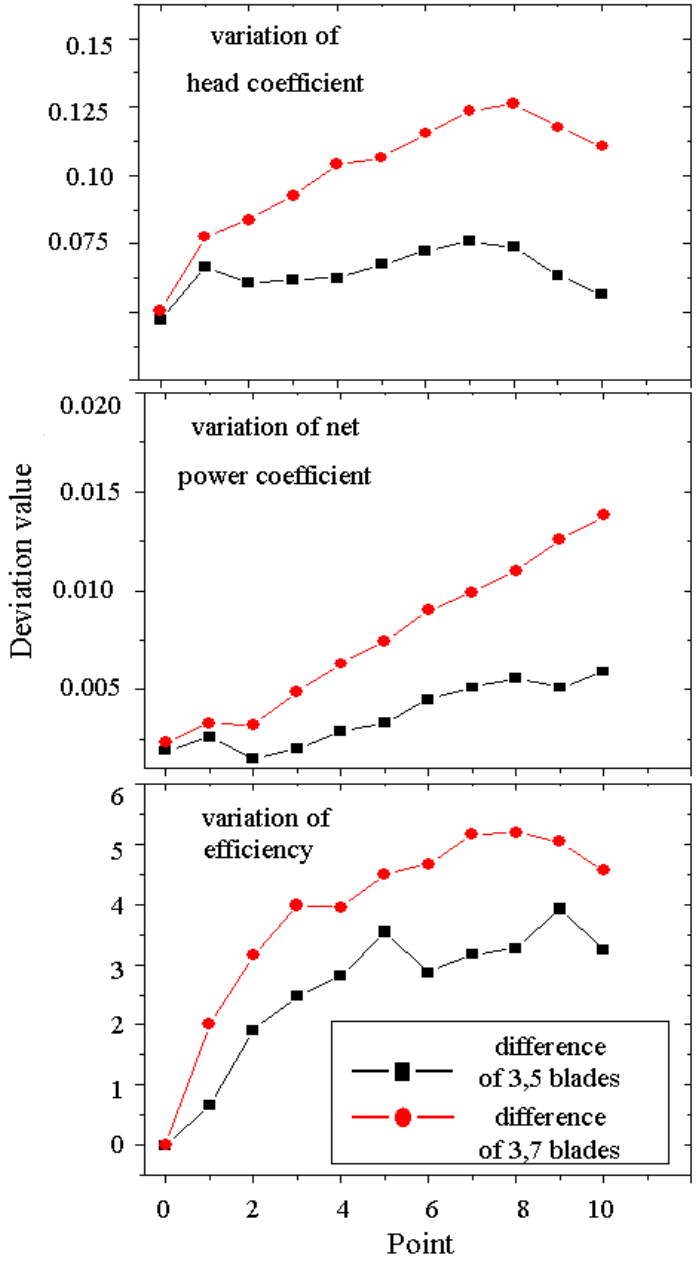


Fig.16 Graph of compare 3 blade with 5, 7 blade for characteristics deviation value

4.2 유량계수에 따른 내부유동패턴

Fig.17은 유량계수에 따른 내부유통패턴을 알아보고자 설치한 실험장치로서 5깃 임펠러를 취부한 후 임펠러 간극을 1mm로 하고 1대의 Sheet light와 Digital camera를 이용하여 미세공기(void fraction: 0.1%)를 입자로 사용하여 펌프내부의 유동패턴을 촬영하기 위한 실험 장치이다.

또한 Fig.18은 최대 유량지점에서 유량을 등 간격으로 10등분 한 후 최고 효율 점, 최저 효율 점 그리고 중간지점을 설정하여 내부유동패턴을 촬영한 그래프로서 Fig.19의 그림과 같이 효율이 62.7%인 최고 효율 지점에서는 임펠러 내부의 유선은 유로와 평행하게 흘러갔지만 효율이 0.86%인 최저 효율 점에서는 유선의 방향이 임펠러 내부로 다시 재순환되었다.

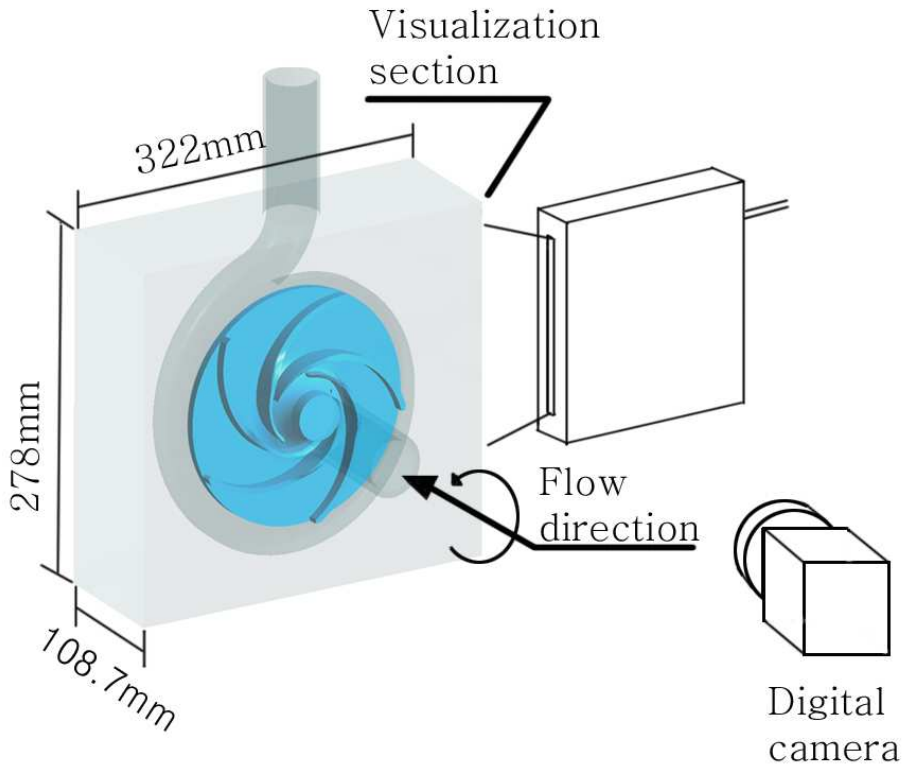


Fig.17 Visualization experiment apparatus in single phase flow

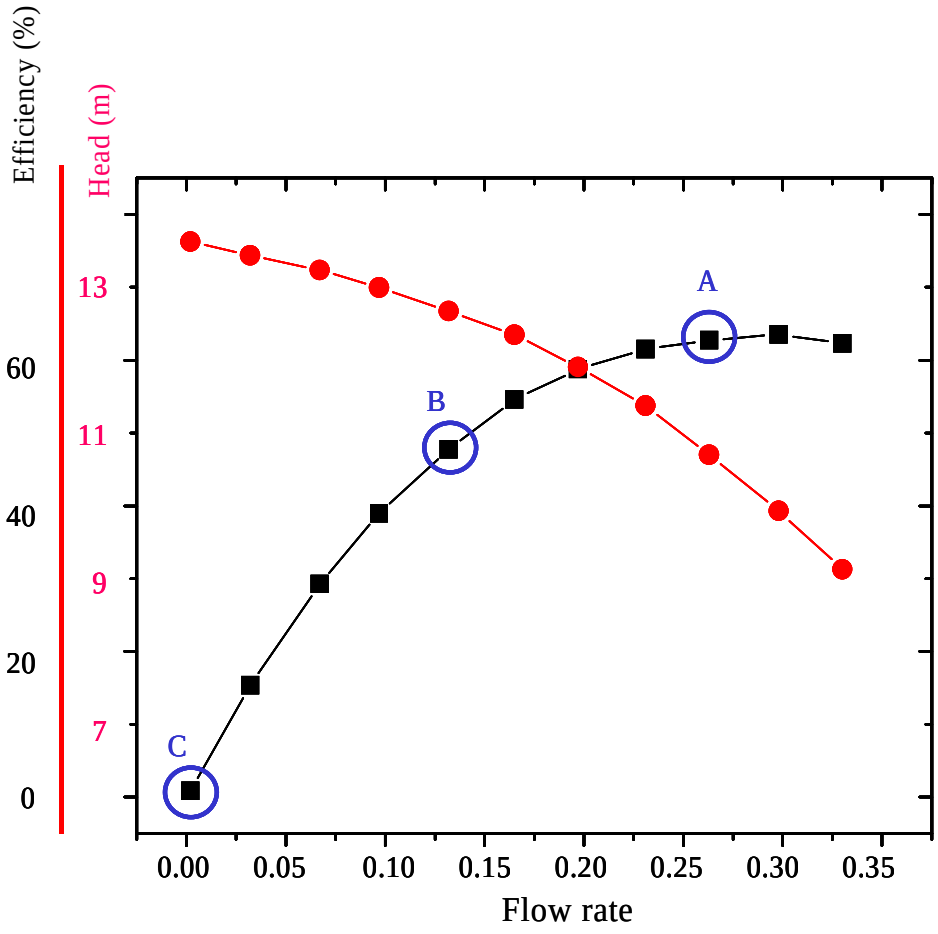


Fig.18 Measuring point of flow pattern in single phase flow

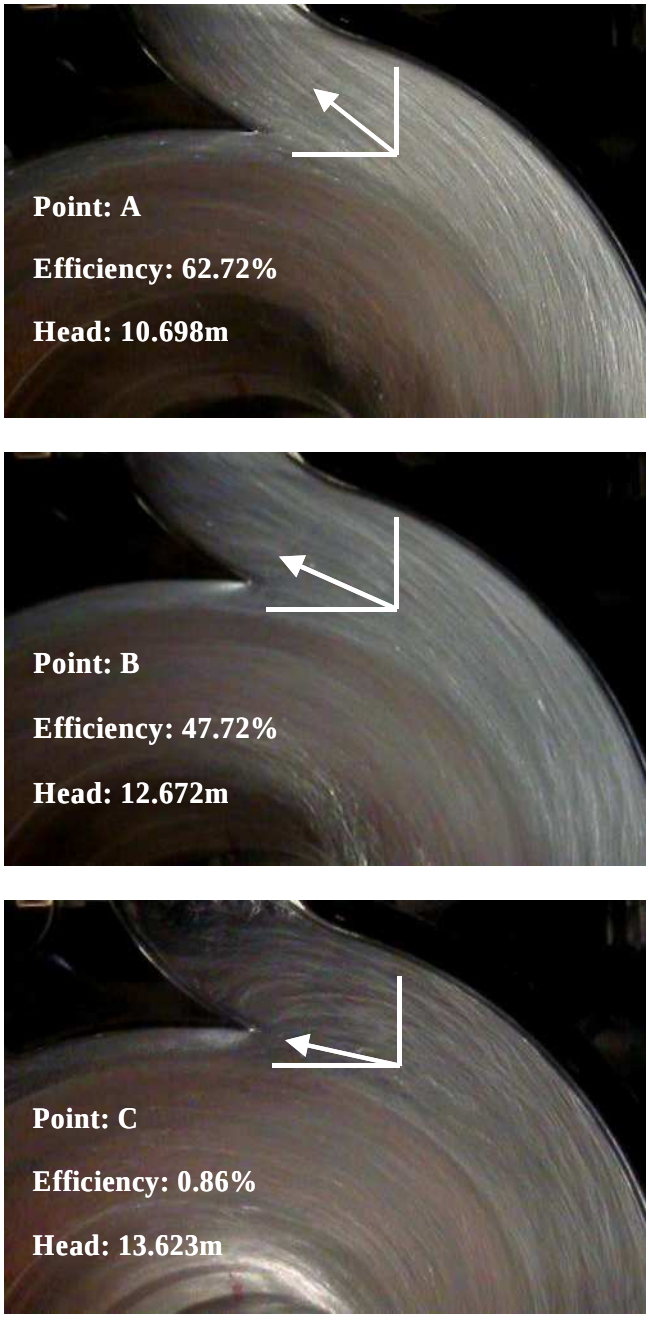


Fig.19 Picture of flow pattern in single phase flow

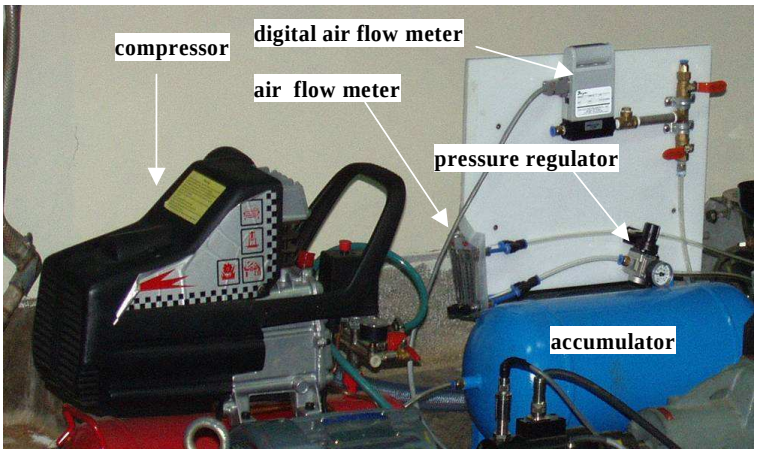
제 5 장 기액이상류시의 원심펌프 특성

5.1 공기공급장치의 구성

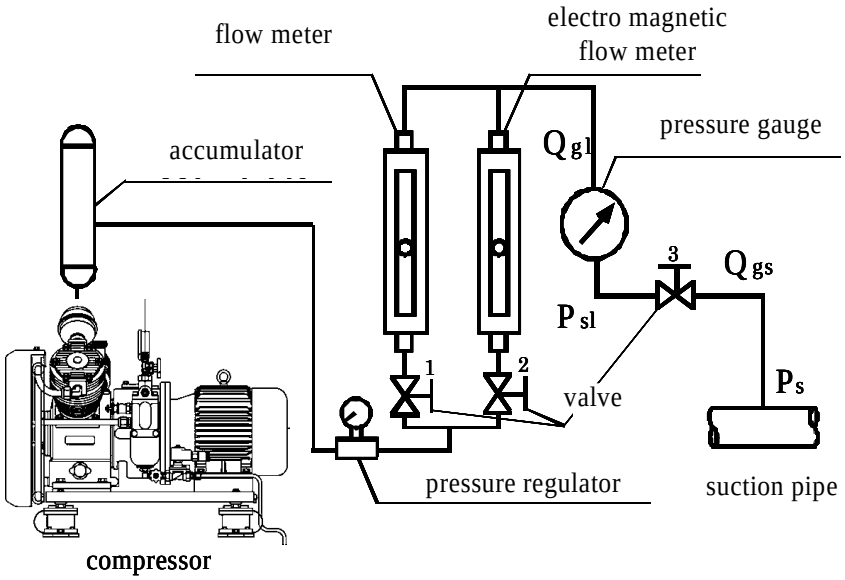
Fig.20은 유량계수를 등 간격으로 10등분하여 각각의 유량계수에서 공기를 1ℓ/min씩 증가시키면서 기액이상류시의 특성을 알아보기 위해 설치된 공기공급 장치와 장치사진으로서 압축기, 공기저장탱크, 압력조절기, 2개의 아날로그 공기유량계와 1개의 디지털공기유량계, 압력계로 구성되어 있으며 압축기에서 생성된 공기를 안정적으로 공급하기 위해 공기저장탱크도 설치하였다.

유량계의 범위는 좀더 정확한 공기량을 조절하기 위해서 각각 10ℓ/min, 1ℓ/min의 범위가 다른 것을 하나씩 설치하였고, 공기를 투입하는 압력은 압력조절기를 이용하여 흡입압력과 비슷한 압력을 유지하였으며 케이싱에서 200mm 상류 측 흡입관에 공기공급위치를 설정하였다.

또한 좀더 정확한 실험을 위해 공기저장탱크(accumulator)출구의 압력을 항상 대기압 상태를 유지하였고 데이터를 획득중일 때는 공기의 맥동을 최소화하기 위해서 압축기를 가동하지 않았다.



(a) Picture of air supply system



(b) Schematic illustration of air supply system

Fig.20 Air supply system

5.2 깃 수 변화에 따른 기액이상류시의 특성

Fig.21, Fig.22, Fig.23은 기액이상류시 깃 수(3깃, 5깃, 7깃) 변화에 따른 단단 원심펌프의 성능실험 결과를 나타낸 그래프로서 단상류시의 성능을 측정한 후 유량계수를 등 간격으로 10등분하여 각각의 유량계수에서 공기를 1ℓ/min씩 증가시키면서 측정한 결과를 세로점선으로 나타내었고 각각의 유량계수에서 등 보이드선을 가로실선으로 연결하여 나타내었다. 양정특성과 효율특성을 비교해 보면 보이드율 4% 이상에서는 깃 수가 적은 임펠러에서 유동상태가 급변하는 곳이 많이 나타났고 유량계수가 적은 곳에서는 적은 양의 공기에도 불구하고 양수 불능상태가 됨을 알 수 있었다. 공기흡입에 따른 축동력 특성 역시 보이드율 4% 이내에서는 거의 변화가 없었고 4% 이상에서 약간의 불연속적인 특성만을 보였다.

또한 Fig.24, Fig.25에서와 같이 깃 수에 따른 기액이상류시 최대유량과 최대효율에서의 양정특성을 비교해보면 보이드율 4% 이내에서는 깃 수와 관계없이 양정이 일정한 폭으로 감소하지만 보이드율 4% 이상에서는 불연속적으로 변화하였으며 양수 가능한 보이드율은 최대유량에서 3깃(6.87%), 5깃(6.77%), 7깃(5.84%)으로 깃 수가 적을수록 높게 나타났다.

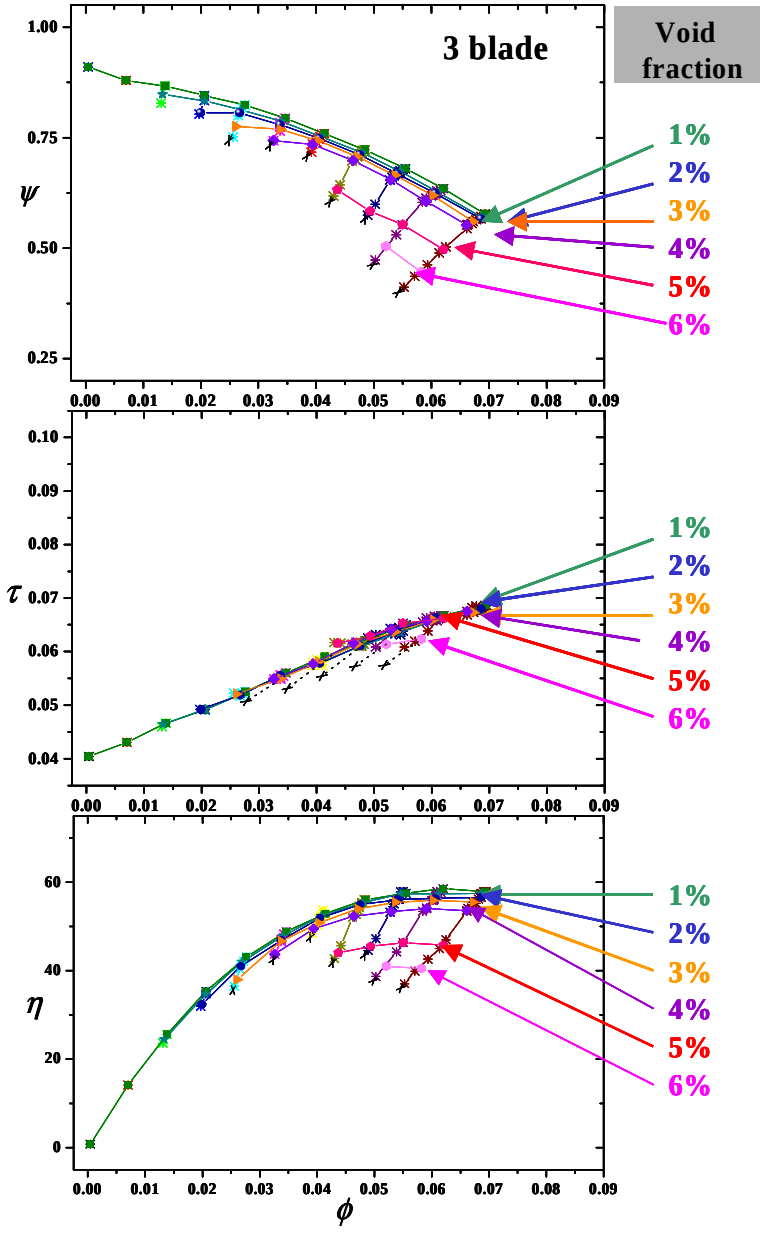


Fig.21 Characteristics of single-stage centrifugal pump with 3 blade semi-open type impeller in air-water two-phase flow

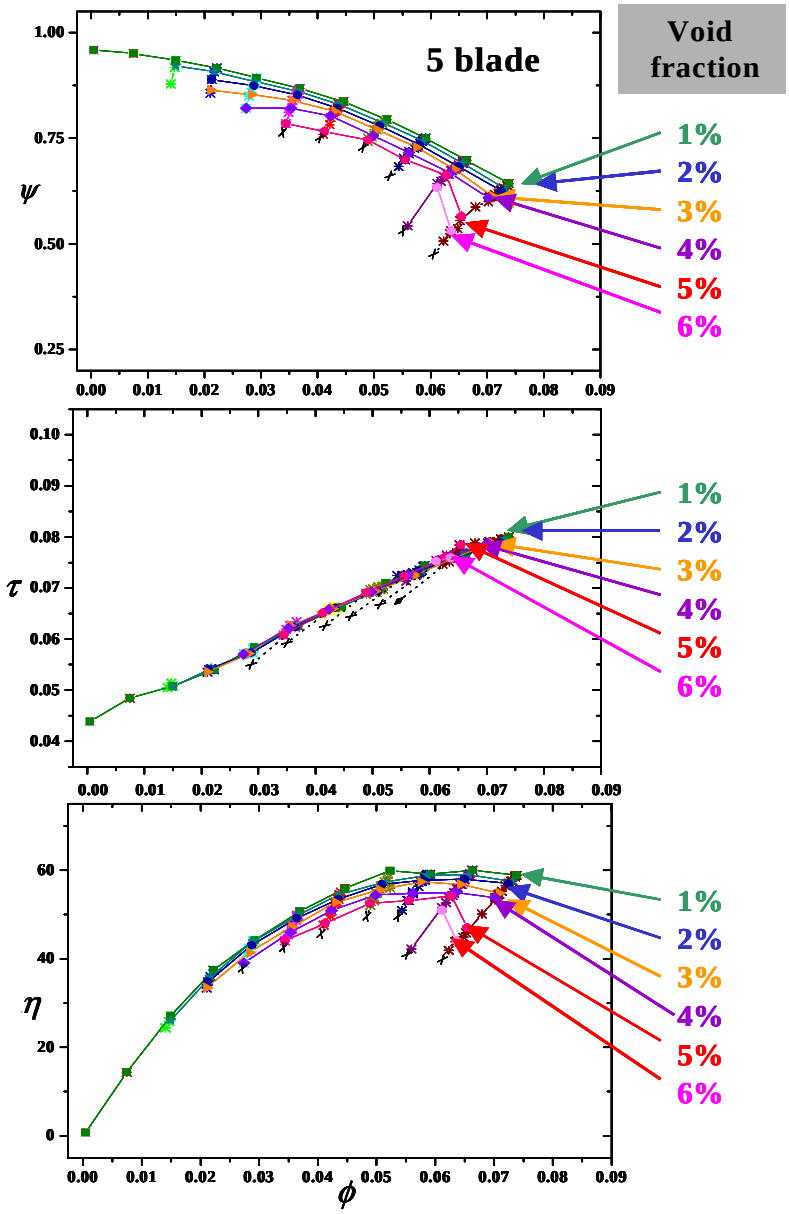


Fig.22 Characteristics of single-stage centrifugal pump with 5 blade semi-open type impeller in air-water two-phase flow

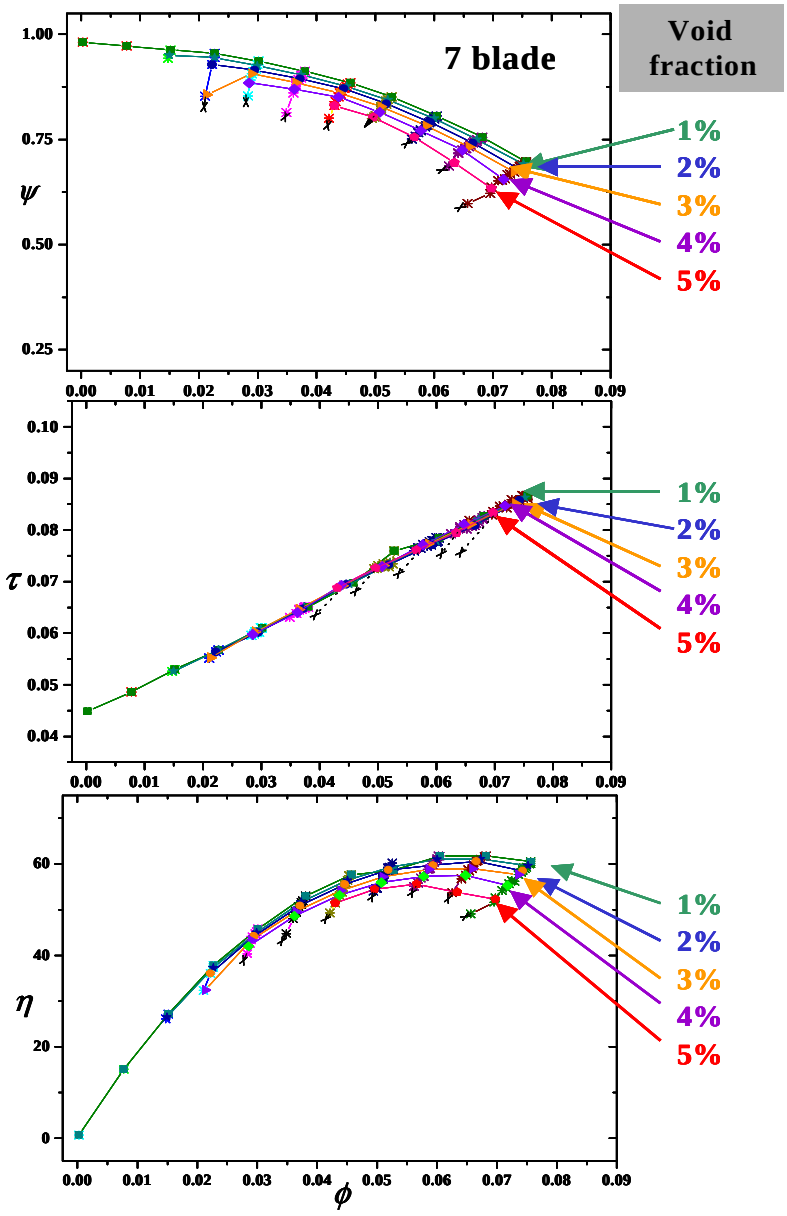
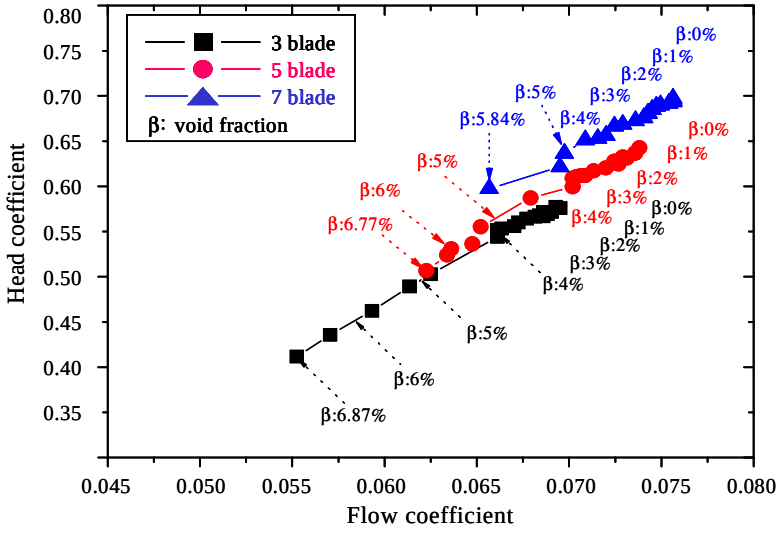
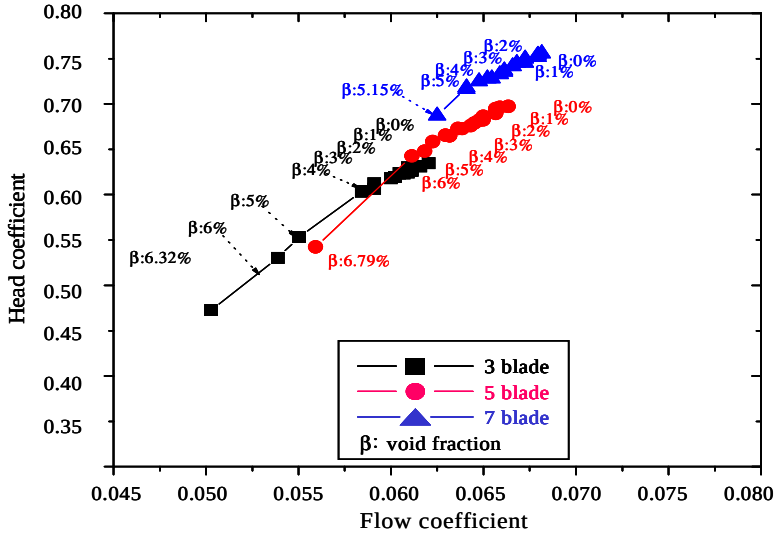


Fig.23 Characteristics of single-stage centrifugal pump with 7 blade semi-open type impeller in air-water two-phase flow

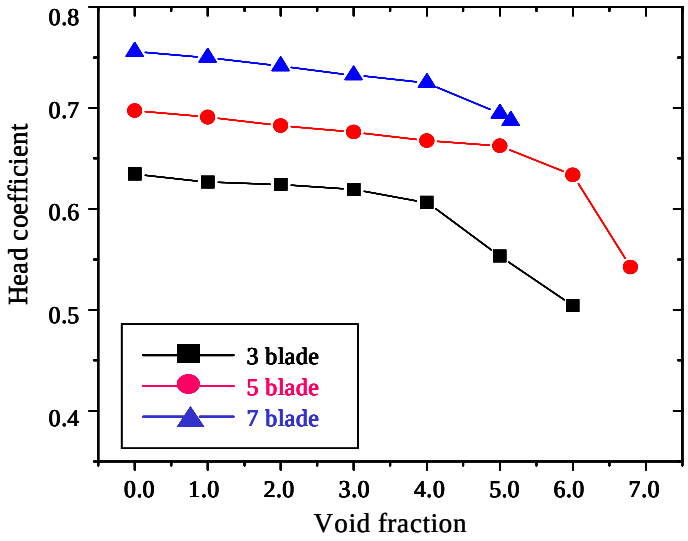


(a) Variation of the head coefficient at a maximum flow coefficient

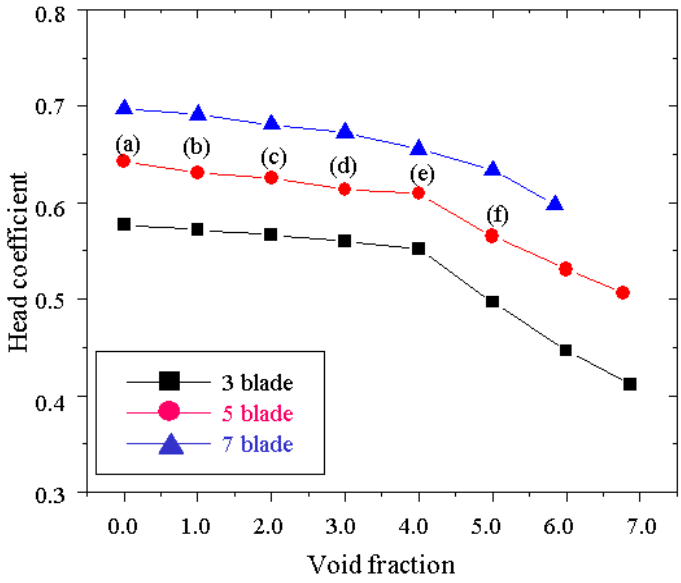


(b) Variation of the head coefficient at a maximum efficiency

Fig.24 Variation of the head coefficient according to entrained air



(a) Variation of the head coefficient at a maximum efficiency



(b) Variation of the head coefficient at a maximum flow coefficient

Fig.25 Variation of the head coefficient according to void fraction

5.3 기액이상류시의 유동패턴

5.3.1 가시화 실험장치의 구성 및 실험방법

기액이상류시 보이드율에 따른 임펠러와 케이싱내의 기포체류 및 유동변화를 촬영하기 위해 Fig.26과 같이 1대의 Sheet light, 고속도 카메라 및 Stroboscope를 이용하였다.

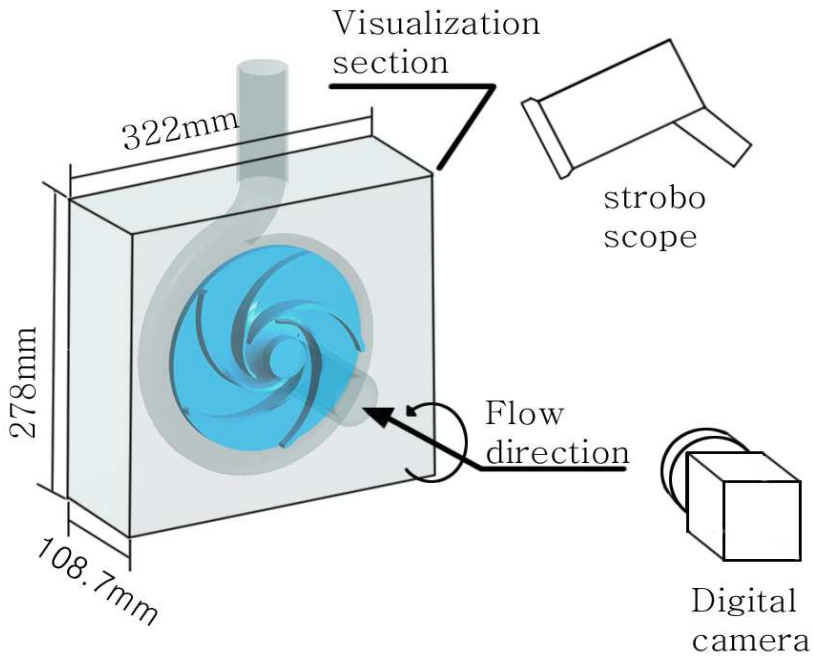


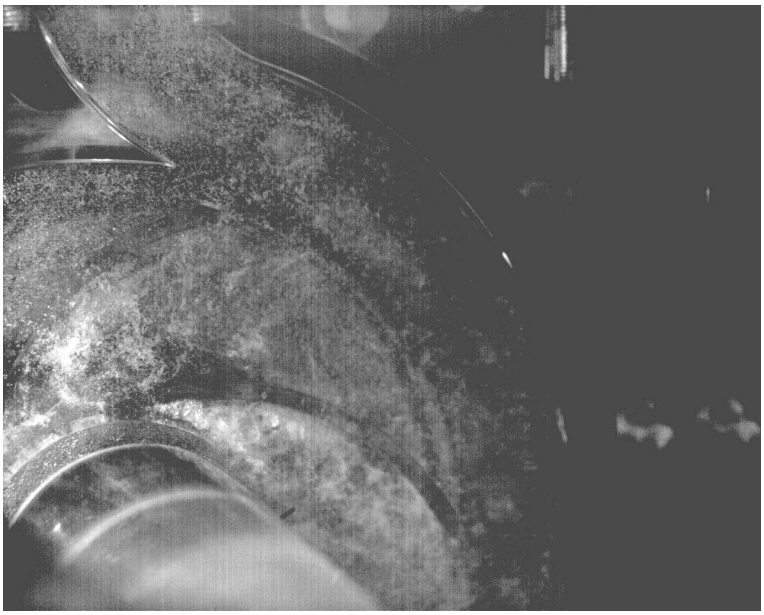
Fig.26 Visualization experiment apparatus in air-water two-phase flow

5.3.2 보이드율에 따른 유동변화

Fig.27의 (a)~(f)는 Fig.25 (b)의 그래프에서 나타내는(a)~(f)지점을 고속도 카메라를 이용하여 촬영한 사진이다.

임펠러는 5깃을 기준으로 하였고 기액이상류시 보이드율 1%에서 6%까지의 케이싱 내부 유동변화를 연속 촬영한 사진이다. Fig.27의 (a)~(f) 사진에서 보듯이 보이드율이 증가할수록 임펠러의 입구 측에 공기가 점점 더 많이 체류하는 것을 알 수 있었다. 보이드율이 3%까지는 공기의 체류기간이 짧아 입구부에 그다지 많은 양의 공기가 체류하고 있지 않았지만 보이드율이 4%가 되자 입구부에 다량의 공기가 체류하였고 Fig.25 (b)의 그래프에서 보여주는 바와 같이 펌프성능역시 불연속적으로 변화하였다. 또한 보이드율 5% 이상에서는 유로의 입구뿐만 아니라 전 영역에 걸쳐서 공기가 체류하기 시작하였으며 보이드율 6%에서는 전 영역에 많은 양의 공기가 체류하였고 보이드율 6.77%가 되자 폐쇄현상이 일어났다. 따라서 펌프의 성능이 급격히 저하되고 불연속적으로 변화하는 것은 펌프내로 유입되는 공기가 흡입 측에서 토출하지 못하고 체류하는 기간이 길기 때문이라 사료된다.

(a) Void fraction 1%



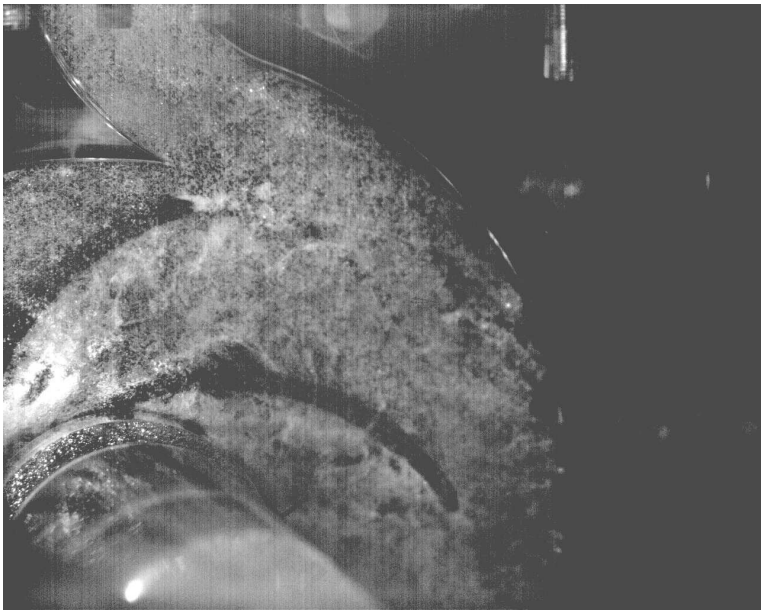
(b) Void fraction 2%

Fig.27 Flow pattern according to the void fraction

(c) Void fraction 3%

(d) Void fraction 4%

Fig.27 Flow pattern according to the void fraction



(e) Void fraction 5%

(f) Void fraction 6%

Fig.27 Flow pattern according to the void fraction

제 6 장 결론

기액이상류 실험 장치를 구축하여 실험장비의 신뢰성을 검증하고, 펌프의 성능이 저하되는 손실부분을 정량화하기 위한 기초 자료를 확보하고자, 단단 벌류트 원심펌프를 대상으로 깃 수가 3, 5, 7인 임펠러의 기액이상류시의 특성을 실험적으로 분석한 결과 다음과 같은 사항을 알 수 있었다.

(1) 기액이상류시 펌프의 특성 실험 장치를 구축하여 유량계와 압력계 및 실험장치가 신뢰성 및 재현성을 만족함을 확인하였다.

(2) 깃 수에 따른 단상류시의 성능곡선을 비교해 보면 깃 수가 많을수록 양정특성, 축 동력 특성, 효율 모두가 우수했다.

(3) 단상류와는 다르게 이상류 실험에서는 오히려 깃 수가 많을수록 펌프의 양수불능 상태가 빠르게 일어났으며 양수 가능한 보이드율은 3깃(6.87%), 5깃(6.77%), 7깃(5.84%)로 깃 수가 적을수록 크게 나타났다.

(4) 보이드 율이 4% 이내에서는 양정특성, 축 동력 특성, 효율 등의 등보이드율선이 저유량에서 고유량까지 넓은 유량영역에서 일정한 간격으로 감소하였지만 보이드율 4% 이상에서는 등보이드율선의 간격이 불규칙하게 변화하였다.

참고문헌

1. Kaneko, M., and Ohashi, H., 1981, "Self-Excited Oscillation of a Centrifugal Pump System under Air/Water Two-Phase Flow Condition," Proceedings of the 11th Symposium of IAHR, pp. 36. 1-36. 14.
2. Minemura, K., and Murakami, M., 1988, "Developments in the Research of Air-Water Two-Phase Flows in Turbomachinery", JSME International Journal, Series II, Vol. 31, pp. 615-662.
3. Furukawa, A., Kuwano, T., and Okuma, K., JSME ICFE-97-811 (1997), pp. 479-484.
4. You-Taek KIM, Kazuhiro Tanaka, 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」, pp.1-8, 미국기계학회(ASME), 일본기계학회(JSME), 1999
5. You-Taek KIM, Kazuhiro Tanaka, Yoichiro Matsumoto, Young-Ho LEE, "Flow Pattern and Pressure Distribution due to Air Entrainment in a Screw-type Centrifugal Pump", PROCEEDINGS of ASME Fluids Engineering Division Summer Meeting 2000」, pp.1-7, 미국기계학회(ASME), 2000
6. You-Taek KIM, Kazuhiro TANAKA, and Young-Ho LEE, Characteristics of a Small Screw-type Centrifugal Pump Operating in Air-Water Two-Phase Flow,

Journal of Fluid Machinery(in Korean), Vol.2-4(1999), pp. 9-15.

7. KS B 6301, 2001, 원심펌프, 사류펌프 및 축류펌프의 시험 및 검사방법, 한국표준협회.

8. 김영, 김성윤, 남청도, 이영호, 김유택, “깃 수에 따른 기액이상류시의 펌프특성” 한국마린 엔지니어링학회 후기학술대회논문집(2006년), pp.31-32

9. 세창인스트루먼트(주), 전자유량계 매뉴얼

감사의 글

석사과정 2년 동안 한없이 부족한 저에게 넘치는 사랑과 아낌없는 관심으로 지도를 해주신 김유택 지도교수님께 진심으로 깊은 감사를 드립니다. 또한 바쁘신 와중에도 학위논문을 심사하셔서 부족한 논문을 다듬어주신 남청도 교수님과 이영호 교수님께 고개 숙여 감사를 드립니다. 처음 석사과정을 시작했을 경우 역학이라는 학문을 통해서 많은 어려움과 한계를 느끼기도 했지만 졸업을 하기 위해 지금 논문을 쓰고 있는 제 자신을 돌아보면 감회가 새롭습니다. 대학원이라는 곳을 통해서 새로운 학문과 지식을 터득했으며 많은 지인들을 만나게 되었고 반복되는 실험을 통해서 인내를 배우게 되었습니다. 이제는 교수님들의 가르침과 대학원 생활을 통해서 배운 지식들을 가슴깊이 새기고 작게나마 사회생활에 보탬이 되려고 노력해 보고자 합니다. 비록 지금은 작은 결실을 맺었지만 이 결실을 맺기에 앞서 많은 어려움과 시련을 극복할 수 있도록 묵묵히 밤늦게까지 기다려주고 아낌없이 응원해주며 지켜봐준 나의 사랑하는 아내에게 감사하다는 말을 전하고 싶습니다. 또한 함께 고생했던 두식이, 철균이, 범성이에게도 고맙다는 말을 전하며 항상 물음에 있어서 불평 없이 대답해준 김성윤과 세원기원 사장님, 옆에서 아낌없이 용기를 주신 이상일 교수님, 실험기자재와 실험방법 등에 있어서 저에게 큰 도움을 주신 남상현씨, 직장생활을 하면서 논문에 매진 할 수 있도록 아낌없이 성원해준 해양수산부 직원들, 친구 같은 동생이자 사랑스러운 후배 성호에게도 감사하다는 말을 전하고 싶습니다. 끝으로 저를 지금까지 길러주신 아버지, 어머니, 우리 사랑스러운 가족들, 많이 부족한 저를 포기하지 않고 사랑과 관심으로 가르쳐 주신 김 유택 지도교수님께 다시 한번 감사의 말씀을 올립니다.