

Sump 수리모형시험

유체기계공업학회 펌프분과, 한국수자원공사

1. 개요

본 수리모형 시험은 부적합한 펌프수조형상 및 제반운전조건에 기인하는 펌프수조내의 각종 보텍스의 (공기흡입 보텍스, 수중 보텍스) 발생여부를 시험을 통해서 검증하고, 이에 상응하여 시험을 통하여 적절 한 보텍스 방지장치를 도출함으로써 펌프수조의 건전 성을 확보하는데 그 목적이 있다.

본 실험은 (주)효성EBARA에서 수행하였으며, 시험 시 기존 흡수정에 설치되어 있는 보텍스 방지장치 (anti-vortex device)가 구성되어져 있는 조건으 로 시험을 수행하여, 3가지의 유형별 시험조건에 의해 시험을 수행하여 건전성 여부를 검증한다.

시험기준은 JSME S 004-1984 (일본 기계학회 기준, 펌프흡입수조의 모형시험법)을 토대로 하였다.

2. 시험대상설비 제원

울산권 원동 (신)취수장에 사용중인 펌프의 제원은 아래와 같다.

- 1) Service : 취수 펌프
- 2) Model : HDR 600-830A (Horizontal Double Suction Split-Case Type)
- 3) Motor : 1,700kWx8Px3,300Vx60Hz
- 4) Pump

표 1 사용중인 펌프의 제원

구 분	단 위	Operating point	Max flow
유 량	[m ³ /hr]	4,422	5,500
양 정	[m]	75	62

3. 상사의 원리

일반적으로, 수리모형 시험에 있어서는 다음 세 가

지의 상사원리가 적용된다.

[모델비: 1/8 (모델수조와 원형수조는 기하학적 상 사를 이룬다)]

3.1 Froude수 (Fr) 일치

모델수조와 원형수조의 Froude수 (Fr)는 일치되 어야 한다. Froude수 (Fr)는 유체의 관성력과 중력 의 비에 대응하는 무차원 수이며, 자유수면의 상태는 이 Froude수에 의해서 지배된다.

$$Fr = \frac{Vm}{\sqrt{gLm}} = \frac{Vp}{\sqrt{gLp}} \quad (1)$$

여기서, Vm : 모델의 유속

Lm : 모델의 기준 길이

Vp : 원형의 유속

Lp : 원형의 기준길이

g : 중력가속도

따라서,

$$Vm = Vp \times \left(\frac{Lm}{Lp}\right)^{0.5} = \left(\frac{1}{8}\right)^{0.5} \times Vp \quad (2)$$

또는,

$$Qm = Qp \times \left(\frac{Lm}{Lp}\right)^{2.5} = \left(\frac{1}{8}\right)^{2.5} \times Qp \quad (3)$$

식 (3)은 식 (2)에서 유도되며, 아래와 같다.

$$Vm = \left(\frac{1}{8}\right)^{0.5} \times Vp$$

$$\frac{Qm}{Am} = \left(\frac{1}{8}\right)^{0.5} \times \frac{Qp}{Ap}$$

$$Qm = \left(\frac{1}{8}\right)^{0.5} \times \left(\frac{Am}{Ap}\right) \times Qp$$

$$= \left(\frac{1}{8}\right)^{0.5} \times \left(\frac{Lm}{Lp}\right)^2 \times Qp = \left(\frac{1}{8}\right)^{2.5} \times Qp$$

여기서, Q_m : 모델의 유량
 Q_p : 원형의 유량

위의 조건은 흡입수조내의 자유수면의 흐름상태를 검사하는데 적용된다.

3.2 중간유속 일치

공기흡입 보텍스는 자유수면으로 부터 펌프 흡입관 까지 연결되어 있는 보텍스이다. 따라서 공기흡입 보텍스의 성장 및 감쇄는 자유수면의 유동뿐만이 아니고 수중의 유동에도 영향을 받는다. 이는, 공기흡입 보텍스류의 상사법칙이 점도와의 관계가 있음을 예시한다. 그러나 자유수면의 유동상태를 지배하는 Froude 수 (Fr)는 점도에 대한 영향이 고려되어 있지 않으므로, JSME에서는 경험식으로서 아래공식의 중간유속 Froude수 (Fr)와 유속일치의 중간속도를 채택하고 있으며, 공기 흡입 보텍스 시험 시 이 중간유속을 사용하여 시험한다.

$$Q_m = Q_p \times \left(\frac{L_m}{L_p}\right)^{2.2} = \left(\frac{1}{8}\right)^{2.2} \times Q_p \quad (4)$$

$$V_m = V_p \times \left(\frac{L_m}{L_p}\right)^{0.2} = \left(\frac{1}{8}\right)^{0.2} \times V_p$$

3.3 유속일치

수중보텍스는 펌프 흡입관 주위의 유속에 의하여 발생되는 것으로 간주된다. 그러므로 실기와 모형펌프가 동일한 유속 조건이 되도록 하여 수중보텍스를 시험하는 것이 요구된다.

$$Q_m = Q_p \times \left(\frac{L_m}{L_p}\right)^{2.0} = \left(\frac{1}{8}\right)^{2.0} \times Q_p \quad (5)$$

$$V_m = V_p$$

위의 조건은 수중보텍스 (submerged vortex)를 검증하는 원리로서 적용된다.

3.4 시험결과와의 기준

흡입수조의 모형시험은 발생하는 보텍스의 형태를 조사, 보텍스 방지대책의 필요성 유무의 판정과, 보텍스 방지대책 후의 효과검증 등을 행하는 경우에는 다

음에 나타내는 허용기준에 의해 시험 결과를 평가하는 것으로 한다.

가. 운전중 타 기기와의 관련으로 양수 중에 공기의 혼입이 발생해서는 안 된다. 따라서 중간유속 조건에서 표면 수축이 발생하는 것은 허용되지만 pump 흡입관으로의 공기의 유입이 되어서는 안 된다. 경험적으로 표면수축의 크기와 pump 흡입관의 크기와의 비가 0.2 이하일 때 공기의 유입이 없으며, 이를 허용기준으로 추천한다.

나. 수중보텍스의 경우 진동, 소음의 원인으로 되는 경우가 예측되므로, 펌프의 진동, 소음을 고려하여 공동을 수반하는 수중보텍스가 관찰되는 경우는 허용되지 않는 것으로 한다.

4. 수조모델과 계측기기

4.1 수조모델과 실험조건

수조모델 설비는 표 2와 같이 구성이 되었으며 원형수조와의 모델비 (1/8)로 축소 제작되어 원형수조와 기하학적 상사성을 갖는다. 모델시험은 각각 LWL, HWL 조건으로 유량비에 따라 유량을 산정하여 수행되며, 각각의 유량에서 수위 (water level)를 변경해가면서 Froude 수 (Fr) 일치, 중간 유속, 유속일치에 대하여 수리 모형시험을 수행한다. (상세 test case는 표 3에 따른다.) 시험설비의 배열은 시험설비 시스템 구성도 (그림 1) 및 시험설비 치수도 (그림 2)에 예시되어 있다. 시험설비는 순환 펌프, 각 Size별 토출라인, 전자식 유량계, 모델수조로 이루어

표 2 수리모형 실험장치

설비명	수량	규격	비고
흡수정 축소모형	1	4mL×1.5mW×0.7mH	실물의 1/8축소 모형
보조탱크	2	3mL×2mW×2mH	용적 : 24m ³
순환펌프	2	HDR300-280, Q=450ton, H=18m	75kW, Inv 기동
보충수 펌프	1	HLP50-250, Q=25ton, H=30m	3.7kW, 4P, 220V
진공펌프	1	VP=25	2.2kW, 4P, 220V
유량계	4	DN 150A(Maker:ABB)	Electromagnetic
인버터 판넬	1set	440V, 100kW용	

Sump 수리모형시험

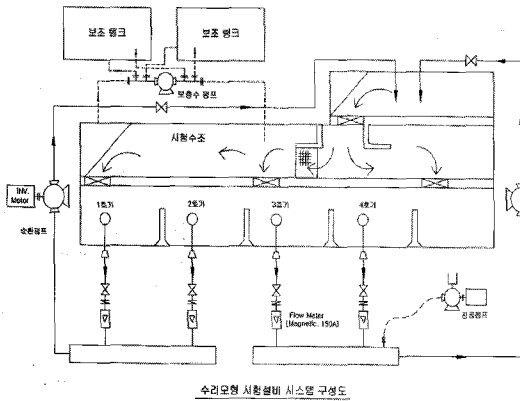


그림 1 시험설비 시스템 구성도

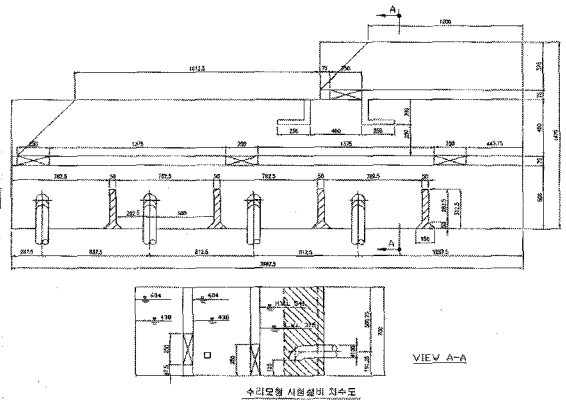


그림 2 시험설비 치수도

표 3 실험 조건에 따른 실험순서

Test Case No.	유속 조건	수위 (mm)		유량 (m ³ /Hr)		운전 펌프
		원형	모델	원형	모델	
O1-1-1	V	L.W.L (EL. 0.0)	L.W.L (375)	5,500	86	1호기
O1-1-2	M	"	"	"	56.7	"
O1-1-3	F	"	"	"	30.4	"
O1-1-4	V	L.W.L (EL. 0.0)	L.W.L (375)	5,500	86	3호기
O1-1-5	M	"	"	"	56.7	"
O1-1-6	F	"	"	"	30.4	"
O1-2-1	V	L.W.L (EL. 0.0)	L.W.L (375)	5,500	86 + 86	1+2호기
O1-2-2	M	"	"	"	56.7 + 56.7	"
O1-2-3	F	"	"	"	30.4 + 30.4	"
O1-2-4	V	L.W.L (EL. 0.0)	L.W.L (375)	5,500	86 + 86	1+3호기
O1-2-5	M	"	"	"	56.7 + 56.7	"
O1-2-6	F	"	"	"	30.4 + 30.4	"
O1-2-7	V	L.W.L (EL. 0.0)	L.W.L (375)	5,500	86 + 86	3+4호기
O1-2-8	M	"	"	"	56.7 + 56.7	"
O1-2-9	F	"	"	"	30.4 + 30.4	"
O1-3-1	V	L.W.L (EL. 0.0)	L.W.L (375)	5,500	86+86+86	1+2+3호기
O1-3-2	M	"	"	"	56.7+56.7+56.7	"
O1-3-3	F	"	"	"	30.4+30.4+30.4	"
O1-3-4	V	L.W.L (EL. 0.0)	L.W.L (375)	5,500	86+86+86	1+3+4호기
O1-3-5	M	"	"	"	56.7+56.7+56.7	"
O1-3-6	F	"	"	"	30.4+30.4+30.4	"
O1-4-1	V	L.W.L (EL. 0.0)	L.W.L (375)	5,500	86+86+86+86	1+2+3+4호기
O1-4-2	M	"	"	"	56.7+56.7+56.7+56.7	"
O1-4-3	F	"	"	"	30.4+30.4+30.4+30.4	"
O2-1-1	V	H.W.L (EL. 1,330)	H.W.L (541)	5,500	86	1호기
O2-1-2	M	"	"	"	56.7	"
O2-1-3	F	"	"	"	30.4	"
O2-2-1	V	H.W.L (EL. 1,330)	L.W.L (541)	5,500	86 + 86	1+2호기
O2-2-2	M	"	"	"	56.7 + 56.7	"
O2-2-3	F	"	"	"	30.4 + 30.4	"
O2-3-1	V	H.W.L (EL. 1,330)	L.W.L (541)	5,500	86+86+86	1+2+3호기
O2-3-2	M	"	"	"	56.7+56.7+56.7	"
O2-3-3	F	"	"	"	30.4+30.4+30.4	"
O2-3-4	V	H.W.L (EL. 1,330)	H.W.L (541)	5,500	86+86+86	1+3+4호기
O2-3-5	M	"	"	"	56.7+56.7+56.7	"
O2-3-6	F	"	"	"	30.4+30.4+30.4	"
O2-4-1	V	L.W.L (EL. 0.0)	L.W.L (375)	5,500	86+86+86+86	1+2+3+4호기
O2-4-2	M	"	"	"	56.7+56.7+56.7+56.7	"
O2-4-3	F	"	"	"	30.4+30.4+30.4+30.4	"

* V: 유속 일치 * M: 중간 유속 * F: Froude수 일치



그림 3 제작된 수조 모델

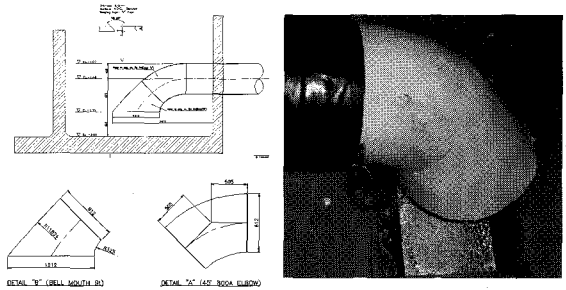


그림 4 원래의 컵 벨마우스가 부착된 실험장치 전경

지며 배관연결에 의한 폐쇄루프 (closed loop)로 구성된다. 순환 펌프는 inverter motor에 의해 구동되며 motor의 회전수를 control하여 시험유량을 조정한다. 시험유량의 측정은 토출라인의 유량계에 의해 측정되었다. 모델수조는 steel용접 구조물로 제작되어 있으며, 펌프 수조의 외벽부분은 투명 아크릴로 제작되어 펌프수조내의 유체흐름 상태를 육안으로 직접 관찰하기에 적합한 구조로 되어있다. 또한, 시험 시 사용 유체는 상온의 청수를 사용한다.

4.2 계측기기

Flow rate (maker : ABB)

Flow meter A (electro-magnetic flow meter)

Nominal diameter : 150A

Range of current : from 0~0.5m/s to 0~10m/s

Accuracy : $\pm 0.5\%$

4.3 제작된 시험장치

그림 2의 도면대로 본 연구에서 그림 3과 같이 제작하였으나 현장 확인 결과 흡입관 벨마우스 형태가 변경 설치되어 있어(그림 4), 그림 4의 우측그림과 같이 제작 변경하여 실험을 하였다.

5. 시험방법

5.1 Test 절차

수리 모형시험의 절차는 다음과 같다.

STEP 1

- 1) 보충수 펌프를 이용하여 시험 수조내 수위를 맞춘다.
- 2) 진공펌프를 이용하여 시험배관 내 air를 제거한다.
- 3) 순환펌프를 기동하여 시험 수위를 재확인한 후 부족할시 보충하여 수위를 맞춤.
- 4) 시험용 inverter motor를 이용하여 시험유량을 맞춘다.
- 5) 현 상태에서 10분간 유체의 흐름상태 및 모형 펌프 부근의 보텍스 발생 유무를 확인한다.
- 6) 상기 5)번의 시험을 최소 10회 이상 관찰하여 보텍스 발생 유무를 결정한다.

STEP 2

- 1) 상기 step 6)의 시험절차에서 보텍스가 발생될 경우에는 최적의 보텍스 방지장치를 도출하여 수정시험을 반복 수행한다.

STEP 3

- 1) 상기 수리모형 시험결과에 대한 자료를 사진으로 촬영하여 기록으로 남긴다.
 주) 앞 장의 시험절차는 한 가지 경우의 test case에 대한 절차이며 각 case별로 동일한 순서에 의하여 시험을 반복 수행한다.

5.2 수정시험(modification test)

예비시험 결과, 각각의 시험항목에 대하여 본 절차서 내에 포함된 판정기준을 만족시키지 못하는 보텍스 강도가 발생될 경우에는 최적의 보텍스 방지장치가 도출될 때까지 수정시험이 수행된다. 수정시험은 예비시

표 4 보텍스 현상 판정 기준

Vortex의 분류	판 정	속 도
(1) 흡수면 보텍스 - 표면수축 [Type I-a & b] - 공기흡입보텍스 (Air-entraining vortex) [Type II] - 공기흡입보텍스 (Air-entraining vortex) [Type III]	○ X X	중간 유속 (medium velocity)
(2) 수중보텍스 (Submerged Vortex) [TYPE IV]	X	유속 일치 (equal velocity)
(3) 수면상태 (The condition of water surface)	주목할만한 휘돌림(WHIRLING LOW)이 없어야 함	Froude수 (Froude number)

* ○ : 합격, X : 불합격

힘과 동일한 절차에 따라서 수행된다.

5.3 보텍스 판정기준

각 보텍스 현상에 대한 판정은 표 2에 표시된 상사성의 조건에 따라 결정한다. 또한, 각각의 보텍스 현상 판정은 아래와 같이 각각의 조건에 대하여 10분간 관측된 data를 기준으로 한다. 각각의 시험 case에 대하여 육안으로 보텍스 현상이 발생하는지의 유무를 관찰하여 보텍스발생 유무를 판단하고, 보텍스 방지장치의 설치를 결정한다.