

수리모형시험과 PIV실험결과

유체기계공업학회 펌프분과, 한국수자원공사

본 연구에서는 원동(신) 취수장을 대상으로 1/8로 축소모형을 하여 수리모형시험과 PIV실험을 수행하였다. 수리모형시험은 단관 벨마우스가 부착된 경우와 커프 벨마우스가 부착된 수리모형시험의 두 가지의 경우에 대하여 실험을 수행하였고, PIV실험은 현재 원동(신) 취수장에서 운영 중에 있는 커프 벨마우스가 부착된 경우에 대해서만 실험을 하여 유동장을 해석하였다.

1. 수리모형시험 결과

1.1 단관 벨마우스가 부착된 수리모형시험 결과

공기흡입 보텍스의 발생여부를 판단하기 위하여 식 (1)과 같은 유속일치 조건의 상사를 적용하였으며, 수중 보텍스의 발생여부를 평가하기 위하여 식 (2)와 같은 중간유속 조건의 상사를 적용하였다. 또한, 본 실험에서는 Fr수 일치조건의 상사조건을 부여함으로써 표면에 표면 수축 보텍스의 발생여부를 파악하였다.

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

$$Q_m = Q_p \times \left(\frac{L_m}{L_p} \right)^{2.0} = \left(\frac{1}{8} \right)^{2.0} \times Q_p \quad (2)$$

이러한 상사조건에 따라 원동(신) 취수장을 대상으로

수리모형시험을 수행한 결과는 표 1과 그림 1에 나타난 바와 같이 모든 경우에 보텍스가 발생하고 있음을 알 수 있다. 이를 자세하게 고찰하기 위하여 각각의 상사법칙에 따른 결과 검토는 아래와 같다.

가. 유속일치 조건

유속일치 조건에서의 시험결과는 펌프 흡입관의 전면부와 하부 측에서 강한 수중와류가 발생되었다.

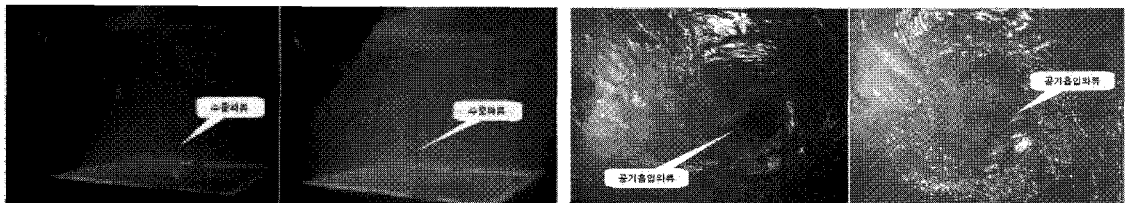
최저수위인 E.L. 0.0 (375 mm)부터 최대수위인 E.L. 1,330 (541 mm)까지 전체 범위에서 수중와류가 발생되었으며 특히 2대 이상의 펌프 동시 운전 시는 그 와류의 정도가 심각함을 확인하였다. 또한 2대 이상의 펌프 운전 시는 공기흡입 와류도 같이 발생함을 확인하였다.

나. 중간유속 조건

중간유속 범위에서의 시험결과는 유속일치 조건에서와 같이 펌프의 흡입관으로부터 수중와류가 발생됨을 확인하였으며 또한 2대 이상의 펌프 운전 시 특히 3번 펌프에서 수중와류 및 공기흡입 와류가 빈번하게 발생됨을 확인하였다. 이러한 현상은 1번과 4번 펌프 측의 유입구로부터의 유속 흐름이 3번 펌프에 영향을 미치고 있음으로 추정된다.

다. Froude수 일치 조건

Froude수 일치 조건에서의 시험결과도 앞의 시험



(가) 시험유량 (86m³/hr)
수위 : 375 mm
(시험조건 O1-2-7, 3호기)

(나) 시험유량 (86m³/hr)
수위 : 375 mm
(시험조건 O1-2-7, 4호기)

(다) 시험유량 (86m³/hr)
수위 : 375 mm
(시험조건 O1-2-7, 3호기)

(라) 시험유량 (86m³/hr)
수위 : 375 mm
(시험조건 O1-2-7, 3호기)

그림 1 유속일치 조건에 따른 결과

과 마찬가지로 2대 이상의 펌프 운전시에는 펌프 흡입관으로부터 아주 미세하고 간헐적으로 수중와류가 발생됨을 확인하였으며 표면수축 와류는 발생되지 않음을 확인하였다.

1.2 커프 벨마우스가 부착된 수리모형시험 결과

공기흡입 보텍스의 발생여부를 판단하기 위하여 식 (1)과 같은 경우는 0중간 유속일치 조건의 상사를 적용하였으며, 수중 보텍스의 발생여부를 평가하기 위하여 식 (2)와 같은 유속 일치 조건의 상사를 적용하였다. 또한, 본 실험에서는 Fr수 일치조건의 상사조건을 부여함으로써 표면 수축 보텍스의 발생여부를 파악하였다.

본 절에서는 벨마우스의 형상이 단관에 커프(cuff)가 붙은 형상으로 원동(신) 취수장의 형태와 동일한 경우이다. 상사조건에 따라 원동(신) 취수장을 대상으로 수리모형시험을 수행한 결과는 표 1과 그림 2와 같이 모든 경우에 보텍스가 발생하고 있음을 알 수 있었다.

2. PIV 실험 결과

2.1 실험장치 구성

제작된 수리모형 장치에서 그림 3과 같이 PIV 실험

힘 장치를 설치하여 실험을 수행하였다. 계측단면은 자유표면 보텍스가 발생하는 운전조건에서 펌프 호기별 자유표면에서 측정되었으며 관련 단면에서 해석 유동장(surface-flow PIV 적용)을 확보하였다.

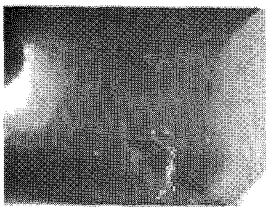
이 때의 운전조건은 아래와 같이 자유표면 보텍스 발생과 중간유속 조건을 기준으로 하였다.

- 조건 1 : #1,#2,#3호기 운전 (low water level)
- 조건 2 : #1,#2,#3,#4호기 운전 (low water level)

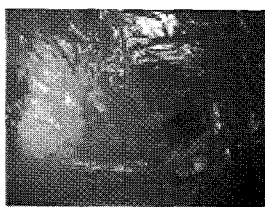
2.2 실험결과

자유표면의 흐름은 조건1과 조건2에서 큰 차이점이 없음을 알 수 있고 이에 대한 결과는 그림 4 ~ 그림 7까지 나타내었다. 그림 4에는 1호기의 결과를 그림 7에는 4호기의 결과를 나타내었는데 각각의 그림에서 (가)는 원시영상이고 (나)는 원시영상에 벡터와 같이 나타내었고, (다)에는 순간 보텍스 분포를 나타낸 것이다.

결과 그림들은 500 frame의 영상(640 × 480 pixel)을 약 17초간의 영상을 촬영하여 속도벡터 처리를 계조치 상호상관기법을 처리하였으며 이에 대한 결과를 동영상 처리하였다. 자유표면 보텍스는 #1호기와 #3호기에서 주로 발견되고 있음을 알 수 있다. 자유표면 보텍스의 발생빈도를 살펴보면 #3호기, #1

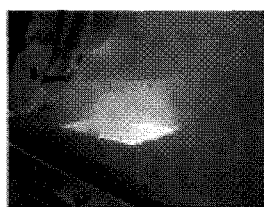


(가) 공기흡입 보텍스 발생

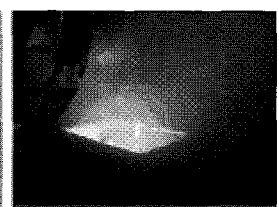


(나) 공기흡입 보텍스 발생

그림 2 커프 벨마우스가 부착된 수리모형시험 결과



(다) 수중 보텍스 발생



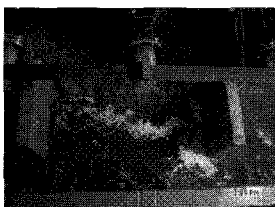
(라) 수중 보텍스 발생



(가) 모델실험장치
(왼편부터 1호기)



(나) PIV 계측실험



(다) 흡입정 모델배치
(왼편부터 1호기)



(라) #2호기에서의 표면흐름

그림 3 PIV실험을 수행하는 모습과 실험 장치

표 1 실험 조건에 따른 실험순서

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

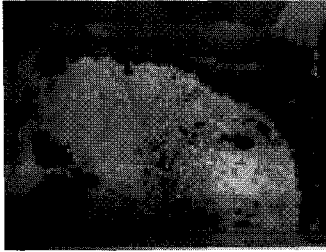
(* V : 유속 일치 * M : 중간 유속 * F : Froude수 일치 □ : 수중 보텍스 △ : 공기흡입 보텍스 N : 보텍스 현상 없음)

호기 순으로 크게 나타났고, #2호기에서는 거의 발생하지 않음을 알 수 있다.

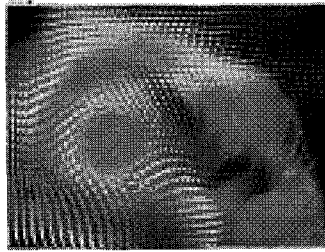
또한, #4호기에서는 강한 표면회전흐름은 발생하나 외는 거의 발생하지 않고 있었고, #3호기에서 표면자유 보텍스가 가장 활발하게 발생하는 것은 3호기 흡입구 바로 전방에 있는 취수 유입구의 영향으

로 강한 회전흐름이 수조내에서 형성되기 때문이라 판단된다.

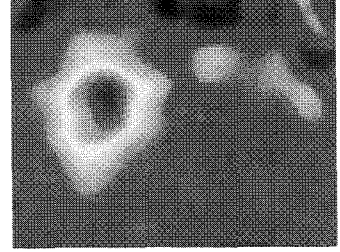
#1호기에서도 #3호기와 같은 양상이나 이때에는 3호기보다 유입취수구에서 들어오는 유량이 #3호기에 비하여 작아(유입취수구까지의 도달거리가 다름)와의 발생빈도가 감소되고 있음을 알 수 있었다. 원동



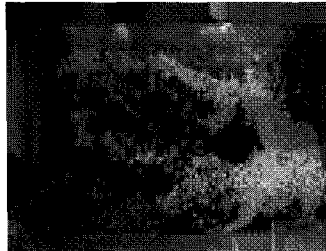
(가) 표면입자 분포



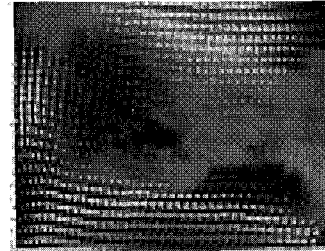
(나) 시간평균 속도분포
그림 4 #1호기의 결과



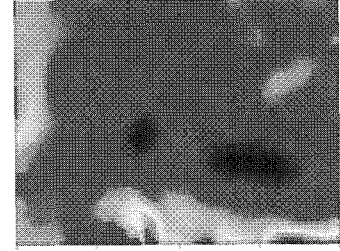
(다) 순간 보텍스 분포



(가) 표면입자 분포



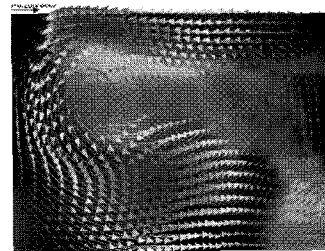
(나) 시간평균 속도분포
그림 5 #2호기의 결과



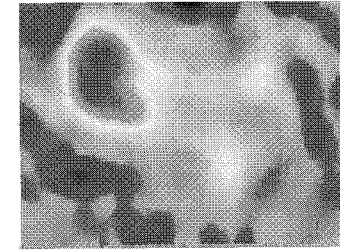
(다) 순간 보텍스 분포



(가) 표면입자 분포



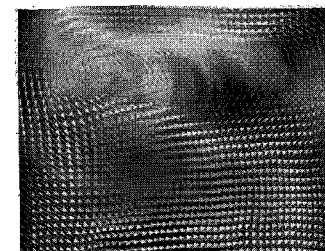
(나) 시간평균 속도분포
그림 6 #3호기의 결과



(다) 순간 보텍스 분포



(가) 표면입자 분포



(나) 시간평균 속도분포
그림 7 #4호기의 결과



(다) 순간 보텍스 분포

표 2 실험 조건에 따른 실험순서

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

(* V : 유속 일치 * M : 중간 유속 * F : Froude수 일치 : 수중 보텍스 Δ : 공기흡입 보텍스 N : 보텍스 현상 없음)

(신) 취수장의 흡수정에서 수문과 흡입배관이 일직선으로 되어 있지 않음을 의미하고 있음을 알 수 있다.

각각의 영상에서 추출된 보텍스의 분포는 표면에서 발생하는 공기흡입 보텍스의 크기를 나타내는 것이다. 위에서 검토를 하였듯이 #1호기와 #3호기에서 큰 보텍스의 크기가 나타났으면 이는 단면의 거의

1/5정도의 크기의 지름을 가지고 있음을 알 수 있다. 그러나 그림 5의 (다)에는 보텍스가 발생되지 않고 있음을 알 수 있다. 이는 #2호기쪽으로 유동이 안정적임을 나타내고 있다.

이러한 결과들로부터 anti-vortex 장치의 선정은 표면에서 발생하는 보텍스의 중심을 파괴시킴에 따라 쉽게 얻어질 수 있을 것이라 판단된다.