

흡수정 내의 수위 변화에 따른 유동장 변화에 관한 수리모형실험

Hydraulic Model Experiments of Flow Changes according to the Water Level in the Intake Basin

김동환*, 김두용*, 김진호**, 신문섭***, 염덕준****

Dong Hwan Kim, Du Yong Kim, Jin Ho Kim, Moon Seup Shin,
Deuk Joon Yum

요 지

인간이 생활하는데 필요한 전기를 생산하는 시설 중 하나인 화력발전소의 발전수차를 냉각시키기 위하여 많은 양의 냉각수를 바다에서 취수하게 되는데, 이 과정 중에서도 특히 흡입수조(Intake Basin)에서 흡입펌프(Suction Pump)를 통과하는 단계가 매우 중요하다. 흡입수조의 형상과 펌프운용조건 등에 의하여 흡입구(Bell Mouth)에 접근하는 유동이 비대칭일 경우 흡입구 주변에서 선회류가 발생하거나 유속분포가 비균일·비대칭이 되기 쉽다. 그러면 선회류가 더욱 악화되어 볼텍스(Vortex)로 발달되면 취수 펌프에 악영향을 준다. 또한 볼텍스의 발생은 흡입수조의 형상뿐만이 아니라 낮은 수위일 경우 수면과 흡입구의 거리가 짧아지면서 자유수면볼텍스 또는 수중볼텍스가 발생할 확률이 높아지게 된다. 본 연구에서 수리모형시험을 통하여 펌프 조합 및 수위 변화에 따른 볼텍스의 발생여부를 파악하고 볼텍스 저감장치를 고안하였다.

핵심용어 : 흡입수조, 선회류, 볼텍스

1. 서론

인간이 생활하는데 필수 요소인 전기를 생산하는 시설에는 원자력, 화력, 수력, 신재생에너지 등을 이용하는 발전소가 있다. 이중 원자력발전소(고리, 월성, 영광, 울진 등)와 화력발전소(태안, 평택, 서인천, 보령 등)는 발전수차(Turbine)를 냉각시키기 위하여 많은 양의 냉각수가 필요하므로 대부분 해안가에 건설되어 있다. 냉각수는 여러 단계를 거쳐 발전수차에 전달되는데 특히 흡입수조(Intake Basin)에서 흡입펌프(Suction Pump)를 통과하는 단계가 매우 중요하다. 흡입수조의 형상과 펌프운용조건 등에 의하여 흡입구(Bell Mouth)에 접근하는 유동이 비대칭일 경우 흡입구 주변에서 선회류가 발생하거나 유속분포가 비균일·비대칭이 되기 쉽다. 선회류는 조건이 악화되면 볼텍스(Vortex)로 발달하는데 발생 위치에 따라 수면에서 발생하는 자유수면볼텍스(Free-surface Vortex)와 수면아래 바닥면 또는 측벽에서 발생하는 수중볼텍스(Sub-surface Vortex)로 구분된다. 또한 이러한 볼텍스는 수위의 변동에 의해서 강도가 더 강해지기도 하는데 이렇게 발생된 볼텍스는 펌프 날개(Impeller)의 한쪽 면에 더 큰 하중을 가하거나 베어링과 커플링 등에 과도한 응력이 부가되면서 불안정한 펌프 운전, 진동 발생, 흡입유량과 양정의 손실을 가져오게 되며, 더 나아가

* 김동환 · 군산대학교 토목공학과 공학석사과정 · E-mail : k567189@naver.com
* 김두용 · 군산대학교 토목공학과 공학석사과정 · E-mail : owblack@naver.com
** 김진호 · 군산대학교 토목공학과 공학박사과정 · E-mail : jinkim@seoyeong.co.kr
*** 신문섭 · 군산대학교 토목공학과 교수 · E-mail : seup@kunsan.ac.kr
**** 염덕준 · 군산대학교 조선공학과 교수 · E-mail : djyum@kunsan.ac.kr

서는 펌프 고장이 발생할 수 있다. 본 연구에서는 수리모형시험을 통하여 펌프조합과 수위변화에 따른 볼텍스 발생여부를 파악하고 볼텍스 저감장치를 고안하였다.

2. 설계기준

현재 우리나라에서 적용 중인 국외 대표적인 흡수정 설계 기준에는 미국의 ANSI/HI(American National Standards Institute/Hydraulic Institute), 일본의 JSME(The Japan Society of Mechanical Engineers) 및 TSJ(The Turbomachinery Society of Japan), 그리고 유럽의 BHRA(British Hydraulic Research Association) 및 CEN Report(Comite Europeen de Normalisation)등이 있다. 미국의 HI(Hydraulic Institute)기준의 경우, 가장 널리 알려진 흡수정 설계기준으로 정수 및 탁수에 대하여 각각 사각형 흡수정 외에도 원형, Trench형 등 다양한 형상에 대한 설계 기준을 제시하고 있다. 이 중에서도 사각형 흡수정에 대하여는 설계 순서도와 실험을 통한 설계 추천값을 상세히 제공하고 있다. JSME와 TSJ는 모두 일본기준으로서 TSJ는 사실상 JSME의 개정판으로 JSME의 내용을 모태로 하고 있어 두 기준의 내용은 거의 유사하다. 이 일본기준은 다른 기준에 비해 모형실험 방법과 판정에 대한 자세한 내용을 관련 실험데이터와 함께 수록하고 있어 모형실험에 관한 가장 유용한 자료가 될 것으로 보인다. TSJ의 경우 CFD(Computational Fluid Dynamics)를 이용한 볼텍스 해석의 내용이 추가되어, 전산해석 연구자들의 이목을 끌고 있다. 유럽의 대표 기준인 BHRA와 CEN은 여러 가지 흡수정 설계 사례를 그림으로 제시하고 있다. 본 연구에서는 사각형 흡수정에 대해 설계 추천값이 상세히 제공되어 있는 미국기준을 적용하였다.

3. 모형 실험

3.1 모형 구성

흡수정의 모형은 그림1과 표1과 같이 현재 기준을 적용하여 축척 1:10로 제작하였다.

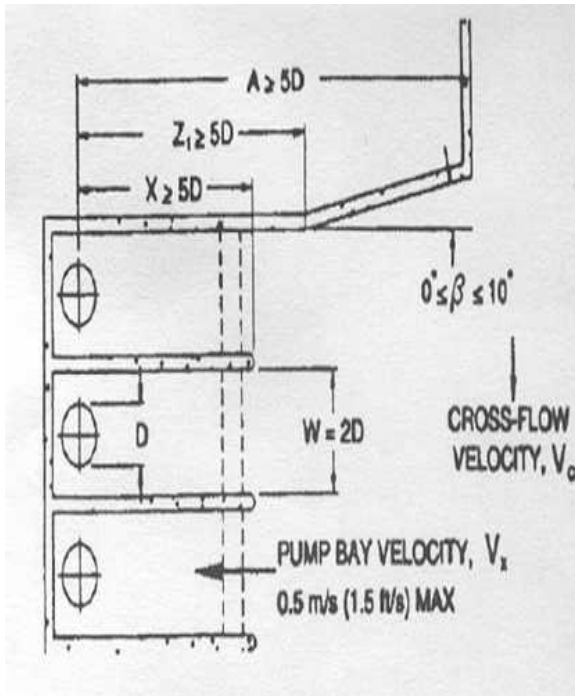


그림 1. 미국기준 흡수정의 형상

변수	설명	추천값	설계값 (mm)
B	후벽과 벨마우스 중양까지의 거리	0.75D	120
C	바닥과 벨마우스 끝단까지의 거리	0.3D~0.5D	80
D	벨마우스 외경		160
H	최소 수위	H=S+C	460
S	최소 임계물수	S=D(1+2.3F _D)	380
W	펌프간 폭	최소 2D 이상	320
X	펌프 격벽의 길이	최소 5D 이상	800

표 1. 미국기준 흡수정의 제원

위 수치들로 제작된 모형은 그림2와 같다.

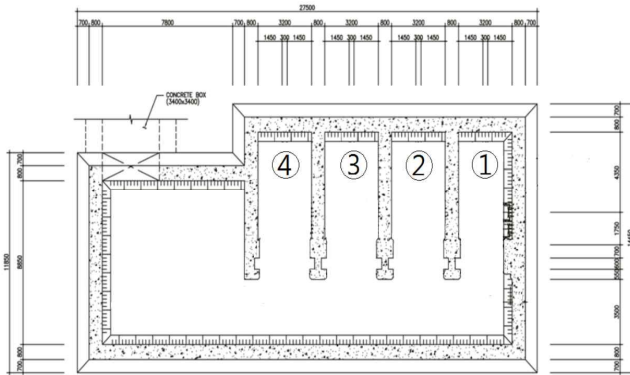


그림2. 모형 흡수정 설계도

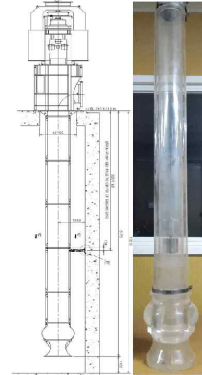


그림3. 흡입관 설계도

3.2 실험 조건

자유표면블텍스는 임계몰수가 낮은 경우에 발생할 확률이 커지지만 오히려 임계몰수가 너무 커지면 발생하는 경우도 있다. 본 연구에서는 해역조건을 고려하여 설계최고고조위, 설계최저저조위로 나눠 수위를 변화시키면서 실험을 하였다. 자유블텍스의 상사법칙과 수중블텍스의 상사법칙은 미국기준 ANSI/HI에서 정하고 있는 프루드 수 일치 상사법칙을 사용하고 있다.

$$V_M = N \times \left\{ \frac{L_M}{L_P} \right\}^{0.5} \times V_P$$

여기서, 첨차 M은 모형, 첨차 P는 원형을 뜻한다. ANSI/HI기준에서는 추가적으로 유속의 1.5배 (N=1.5)의 모형유속에 대하여도 몇 번의 검증 실험을 수행하도록 하고 있다. 본 연구에서는 펌프 3대에 대한 설계유량이 40,500m³/hr일 때 펌프 1대의 유량은 13500m³/hr이고 이를 모형설계유량으로 환산하면

$$\frac{Q_M}{Q_P} = \left(\frac{L_M}{L_P} \right)^{2.5}$$

펌프1대의 유량은 42.69m³/h가 된다.

표 2. 유량 조건

구분	프루드 수 일치 상사법칙	프루드 수 배수 상사법칙	비고
모형 유량(m ³ /hr)	128.1	192.0	
1기당 유량 (m ³ /hr)	42.69	64.0	

표 3. 실험조건

격벽길이	관측시간	수위	조위(mm)	유량(m ³ /hr)	펌프운영	비고
5D	10분	설계최저저조위	654	128.1	1,2,3	
		평균해수면	1098		1,2,4	
		설계최고고조위	1564	192.0	1,3,4	
					2,3,4	

3.3 실험 방법

표 2,3의 실험조건으로부터 실험하고자 하는 수위에서 유량과 펌프를 조합하여 실험을 수행하고 볼텍스와 Swirl meter를 측정할 수 있도록 카메라를 설치하고 10분간 관측하였다. 10분간 관측한 동영상을 이용하여 볼텍스의 발생여부를 판단하고 Swirl meter의 회전수로 흡입구에서의 유동의 비대칭성을 판단하였다.



그림 4. 흡수정 실험과정

3.4 분석

설계최고고조위와 평균해수면에서 자유표면볼텍스와 수중볼텍스가 발생하지 않았으나 설계최저조위에서 수중볼텍스가 발생하여 볼텍스 저감장치가 필요하다고 판단되었다.

4. 개선안 실험

설계최저조위에서 발생한 수중볼텍스는 펌프에 가장 큰 피해를 주므로 이에 대한 대책 방안으로 바닥에서 생기는 볼텍스를 차단해 줄 수 있는 볼텍스 저감장치를 제작하여 흡입구 바닥에 설치하였다.

4.1 볼텍스저감장치(Anti-Vortex Device) 설계

설계 및 제작된 볼텍스저감장치(AVD)는 그림 5에 보이는 것과 같이 Center Splitter, Sidewall Fillet, Backwall Fillet, Corner Fillet로 구성되어있다.

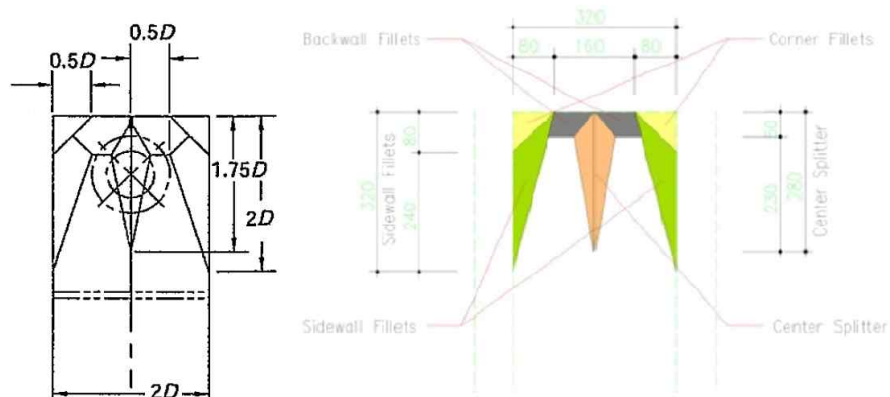


그림 5 ANSI/HI의 볼텍스저감장치(AVD) 설계도

4.2 수행방법

흡수정 내부 흡입구 바닥에 설치하고 실험 조건은 표 2,3와 동일하게 수행하였다.

4.3 개선안 분석

표 4에 나타난 바와 같이 볼텍스 저감장치를 설치함으로써 바닥에서 수중볼텍스가 발생하지 않았다.

표 4. 최저저조위에서 프라우드수 배수 조건으로 운전할 경우 수중볼텍스 변화

펌프운영 AVD	1번,2번,3번	1번,2번,4번	1번,3번,4번	2번,3번,4번
설치 전	3번 펌프에서 지속적으로 관측	4번 펌프에서 지속적으로 관측	3, 4번 펌프에서 지속적으로 관측	3, 4번 펌프에서 지속적으로 관측
설치 후	발생하지 않음	발생하지 않음	발생하지 않음	발생하지 않음

5. 결론

본 연구는 펌프의 조합과 수위의 변화에 의해서 생기는 볼텍스의 발생여부를 확인하고 기준에 적합하지 않은 볼텍스가 발생하였을 경우 제거하는 방안을 모색하였다. 기준에서는 바닥거리를 80mm를 사용하도록 되어 있으나 실험 도중 110mm가 적합하다고 판단되어 바닥거리를 증가시켰으며 최소 수위는 490mm이나 해역 조건에 의해서 설계최저저조위는 654mm로 하였다. 실험 측정 결과 흐름의 비균일·비대칭성을 파악하는 Swirl meter의 경우 모든 수위에서 허용치를 만족하였으나 볼텍스의 경우 해역의 설계최고고조위와 평균해수면에서는 어떠한 펌프조합에서도 볼텍스가 발생하지 않았으나 설계최저저조위에서는 모든 펌프조합에서 수면볼텍스와 수중볼텍스가 발생하여 볼텍스 저감장치를 고안하였다. 볼텍스 저감장치를 제작하여 설치한 결과 수면볼텍스는 극히 일부 발생하였으나 수중볼텍스는 제거되어 볼텍스 저감장치 설치로 흡입구 주변의 흐름을 개선하였다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설교통기술지역특성화사업 연구개발사업의 연구비지원(10 RTIP B01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. ANSI/HI 9.8, 1998, Pump Intake Design Standard.
2. 일본기계학회(JSME) S004, 1984, 펌프 흡입수조의 모형시험법.
3. 터보기계협회(TSJ) S002, 2005, 펌프 흡입수조의 모형시험법.
4. Prosser, MJ, 1977, The Hydraulic Design of Pump Sumps and Intakes, BHRA and CIRIA, London
5. CEN Report CR13930, 2000, Rotodynamic pumps - Design of pump intakes - Recommendations for installation of pumps.
6. 한국수자원공사, 2006, CFD와 PIV 유동실험에 의한 최적 흡수정 모델제시(2차년도)