

수력댐 비상방류밸브의 선정조건에 관한 연구

노형운* · 이갑수** · 박영무** · 김범석*** · 이영호***

The Study of the Decision Criteria for the Urgency Released Valve in Hydraulic Dam

HW Roh*, GS Lee*, YM Park, BS Kim* and YH Lee**,

Key Words : Pump Station(펌프장), Urgency Discharge Valve(비상방류밸브), Dam(Dam), PIV(입지영상유속계), CFD(전산유체역학)

ABSTRACT

In general, the hollow jet valve, the fixed cone valve had been used for the urgency released or maintenance of the flow rate. Nowadays, the butterfly valve, the gate valve are applied in economic performance and operation maintenance more than the hollow jet valve, the fixed cone valve. However, in the case of butterfly valve, it should be required the strict application standard to the cavitation coefficient because the structural axis and disk were situated in pipe channel and the occurring the shock problem by Karman Vortex. And, the judgment data for choice were slight lowdown in water supply and drainage facilities standard or Japanese penstock technology standard, various standard of KOWACO etc. Therefore, there were investigated the valve inside phenomenon (cavitation, disk chattering, vibration) by velocity of flow and the stability examination of body by high velocity of flow through flow scale model test using the numerical analysis and PIV to establish the applicable extensibility of the butterfly valve for the urgency released valve,

1. 서론

현재 중·소규모 댐의 비상방류 및 유지용수용 밸브는 HOLLOW JET V/V, Cone V/V, 버터플라이 밸브 등이 사용되고 있다. 최근 HOLLOW JET V/V 보다 경제성 및 운영 유지관리에 편리하며 저 유속 대 유량에 주로 쓰이는 버터플라이 밸브, 게이트밸브 등 수도용 밸브 류가 적용되고 있으나 버터플라이밸브의 경우 구조상 축 및 디스크가 관로내에 위치하므로 Cavitation 계수가 높고 Carman Vortex 에 의한 진동

문제로 댐 체 비상방류밸브로 선정하기 위해서는 엄격한 적용기준이 필요하다.

그러나 상하수도 시설기준이나, 일본의 수압철관 기술기준, 한국수자원공사의 각종기준 등에 선정을 위한 판단자료가 미미한 실정이다. 따라서 버터플라이밸브를 적용하기 위하여 유속에 따른 밸브 내부 현상(캐비테이션, 디스크 채터링, 진동)파악을 위한 수치해석(Computer Simulation), PIV 계측을 통한 B/F 밸브의 유동 모형실험을 통해서 고 유속에 따른 몸체의 안정성 검토, 버터플라이 밸브 적용시 문제점(내용연수가 상대적으로 작고 교체 작업이 곤란한 장소 등)등을 종합적으로 검토·분석하여 최적의 밸브로 선정하는데 목적이 있다.

본 용역의 목적은 한국수자원공사의 중·소규모 댐

* 아이베이

** 한국수자원공사 에너지사업처

*** 한국해양대학교 기계공학과

E-mail : rohlee@ivai.co.kr

의 비상방류 및 유지용수용으로 버티플라이 밸브를 적용할 시 문제점 등을 종합적으로 검토·분석하여 최적의 밸브로 선정하기 위함이다.

2. 연구내용

중·소규모 댐 비상방류밸브 유동해석을 통한 안정성 제고에 관한 연구내용은 다음과 같다.

- 가. 밸브류의 설계인자 분석
- 나. 밸브의 적용 및 안정성 자료 수집
- 다. 3차원 CAD Modeling
- 라. 전산유체해석(밸브내부 유동해석)
 - 수치해석 및 결과분석
 - 유속별 밸브 내부 현상 (케비테이션, 디스크 채터링, 진동 등)의 파악
- 마. PIV 계측을 통한 B/F 밸브의 유동 해석
 - 수치해석 및 결과분석
 - Karman Vortex, Cavitation에 따른 진동의 안정성 및 한계조건 검토
- 바. 국내외 중·소규모 댐 적용사례 조사 및 연구 사례 조사지원
- 사. 댐 체내 비상방류 밸브 선정 의사결정 자료 지원

3. PIV 실험과 CFD 해석

3.1 PIV 실험

PIV실험은 위하여 광원은 Nd-Yag Dual Pulsed Laser를 사용하였고, CCD Camera, Kodak ES-1.0 (1024×1008pixels)의 영상 입력장치를 이용하였다.

추적입자와 작동유체는 각각 PVC (100 μ m)와 물을 이용하였고, 이에 대한 실험 장치는 그림 1과 같다.

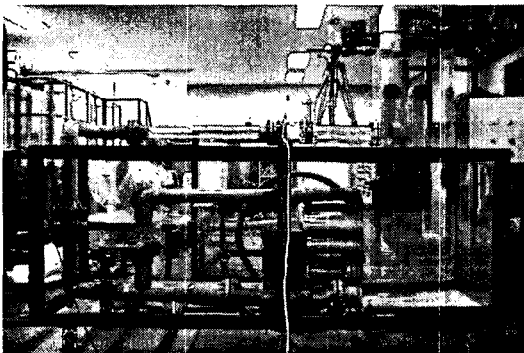


그림 1 실험장치 전체 구성

밸브 개폐각도는 그림 2와 같이 15° 간격으로 조정하였다(15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°)

이때 최대유량인 경우의 밸브 열림각을 90°라 정의하고 최소유량인 경우의 밸브 열림각은 15°라 정의하였다.

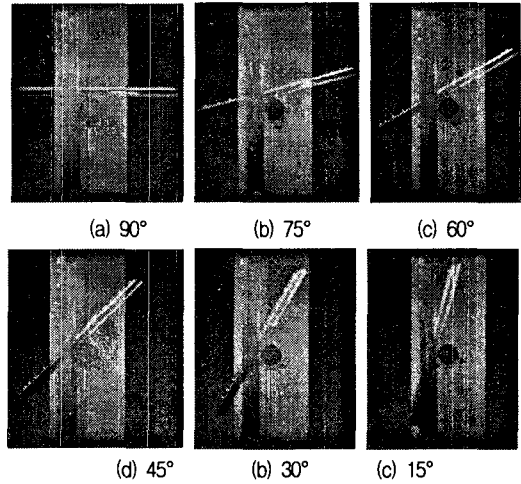


그림 2 밸브 개폐 각도정의

계측단면은 286mm×80mm(H×V)로 설정되고 이는 그림 3과 같다.

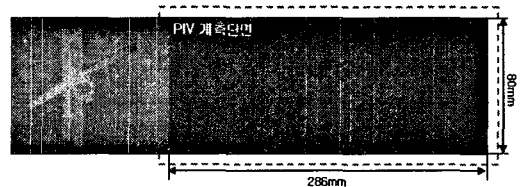


그림 3 계측단면 정의

3.2 CFD 해석

밸브자료(CAD도면)를 이용하여 밸브내부의 영역을 3차원으로 Modeling하여 유동해석 밸브를 구성하여야 하며 밸브내부 유체의 물성 치는 제시된 값을 사용하여 유동해석 Model을 구성하였다. 밸브의 종류는 지름이 1,000mm, 700mm Hollow Jet Valve, Fixed Cone Valve, Butterfly Valve 이다.

해석에 사용된 Solver는 CFX-10이다. 적용 난류모델은 박리(separation)에 의한 2차 유동(secondary flow)의 정확한 모사와 저 레이놀즈 영역인 벽면 경계층에 의한 영향을 정확히 모사하기 위해 1994년

Menter에 의해 제안된 $k-\omega$ SST(Shear Stress Transport) 모델을 적용하였다.

4. 결과 및 검토

4.1 버터플라이 밸브의 캐비테이션 발생 검토

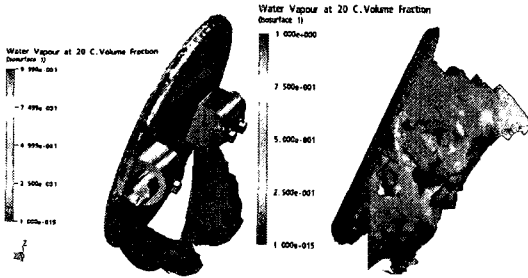
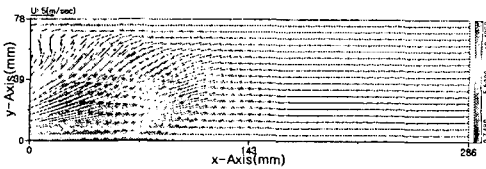


Fig. 4. Cavitation

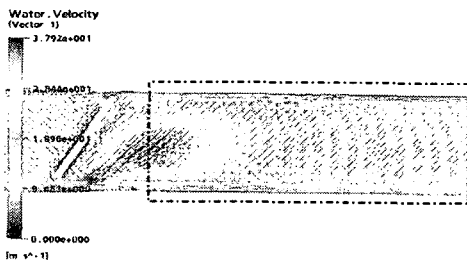
4.2 CFD해석 및 PIV 계측결과 비교

Fig. 5와 같이 버터플라이 밸브의 CFD의 유동해석 결과는 PIV실험결과와 비교하여 보았다. 비교결과 두 가지 연구방법으로 얻어진 결과는 정성적으로 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

PIV 실험을 수행하기 이전에 캐비테이션 모델 적용 타당성 검증을 위한 목적으로 CFD 해석이 수행되었기 때문에 해석 수행당시 임의로 부여한 해석조건과 실험 조건이 일치하지 않기 때문에 정량적인 결과의 비교는 불가능하였다.



(a) PIV 계측결과-30° 열림



(b) CFD 해석결과-30° 열림
그림 5 시간평균 속도벡터의 비교

5. 비상방류밸브의 설계인자 분석

비상방류밸브에 있어서 가장 고려하여 될 인자는 캐비테이션이다. 이 캐비테이션에 의한 가장 영구적인 피해는 기포가 밸브안에서 붕괴함에 따라 발생하는 밸브 내부의 열화이다. 기포가 교축부에서 팽창한 다음 밸브의 하류쪽으로 이동하나 압력이 회복되면서 붕괴된다. 따라서, 밸브에 관한 캐비테이션 계수를 정의하고 이에 대한 설계인자를 분석하여야 한다.

5.1 밸브캐비테이션 계수(cavitation number)

평균유속이 크거나, 밸브설치장소의 표고가 높은 곳(Ha값이 작아짐)에서는 $v^2/2g$ 의 값이 σ 의 값에 비하여 무시할 수 없게 된다. 따라서 기존의 수식에 수은 25°C에 해당하는 포화증기수두 $H_v=0.332(\text{mAq})$ 의 값을 적용하면 편의상 다음과 같이 정리된다.

$$\sigma_1 = \frac{H_2 + 10}{H_1 - H_2} \quad (1)$$

$$\sigma_2 = \frac{H_2 + 10}{H_1 - H_2 + \frac{v^2}{2g}} \quad (2)$$

이들 식으로부터 밸브의 캐비테이션계수(밸브에서 캐비테이션이 발생하는 값)가 작다고 하는 것은 밸브 전후의 압력차($H_1 - H_2$)가 크고 나아가 밸브 하류측의 압력(H_2)이 낮다는 것을 의미한다. 따라서 유량조절을 위하여 밸브의 개도를 작게 할수록 손실에 의한 압력차가 커지며, 밸브위치가 배관중간이 아닌 관말단부에 설치되면 밸브하류의 압력이 대기압과 같거나 매우 낮아지게 되어 밸브 캐비테이션계수는 작아지게 된다. 예를 들어, 송수관로의 말단에 있는 배수지의 유입밸브로서 사용되는 것은 캐비테이션 계수가 매우 작게 되어 엄격한 캐비테이션대책이 요구된다. 이와 같이 관로의 조건을 설계단계에서 고려하게 되면 상용하는 캐비테이션 발생조건을 알 수 있음으로서 적절한 고유캐비테이션 계수를 갖는 밸브를 선정할 수 있게 된다.

5.2 고유캐비테이션 계수

상기의 밸브캐비테이션계수는 밸브전후의 압력차만을 대상으로 하여 거시적인 관점에서 도출된 것이며,

밸브내부의 국소적인 유동장까지를 고려하지 못하고 있다. 따라서 모든 밸브는 형식에 따라서 구조나 형상이 다르게 되므로 실제로 실험을 통하여 캐비테이션계수를 구하고 있다. 이 계수를 각 밸브의 고유캐비테이션계수라고 하며, 크게 초기 캐비테이션 계수(incipient cavitation number) 와 그리고 실용 캐비테이션계수로 구분될 수 있다.

초기캐비테이션 계수(incipient cavitation number) σ_c 는 실험상 밸브 상류측의 압력을 일정하게 유지하고 하류측의 압력을 조정(하류측의 별도의 조절밸브를 이용)하여 유량을 증가시켜 보면 캐비테이션 현상이 나타나 특유의 음이 발생하기 시작하는 캐비테이션계수로, 이 단계에서는 밸브에 손상을 주는 커다란 소음과 진동, 그리고 피식은 발생하지 않는다.

실용 캐비테이션계수 σ_u 은 유량이 더욱 증가하여 choked 캐비테이션(소음 및 진동이 커지고 피식도 최대가 됨)과 같이 밸브에 실제로 유해한 캐비테이션 현상이 나타나기 시작할 때의 값이며 일반적으로 밸브제작자의 기술자료에서 확인이 가능하다.

밸브에서 캐비테이션이 발생하지 않도록 하기 위하여는 다음의 조건을 만족하여야 한다.

$$\sigma > \sigma_c \quad (3)$$

즉, 초기캐비테이션계수 σ_c 가 작은 밸브를 선정하던가 밸브위치를 변경하는 것이 가능하다면 σ 값을 크게 취할 수 있도록 상류로 설치장소를 바꾸는 방법이 있다. 일반적으로는 전자의 방법이 유효하다고 알려져 있다.

초기캐비테이션계수 σ_c 를 사용함으로써, 비록 캐비테이션은 발생하지만, 커다란 소음이나 진동이 없으며 피식도 크게 문제가 되지 않는 조건을 기준으로 하고 있으며 이를 만족시키기 위한 관로조건 σ 는 현실적으로 비경제적일 수가 있다. 따라서, 사용상황, 내구성, 경제성 등을 고려하여 다음 식과 같이 밸브의 실용 캐비테이션계수 σ_u 를 이용하는 것이 현실적인 대응이 될 수 있다.

$$\sigma > \sigma_u \quad (4)$$

5.3 밸브의 한계유속 결정

따라서, 25℃의 전후의 통상적인 수온에서 작동하는 밸브에 대하여 한계유속을 구하는데 유용하게 사용될

수 있으며 식중의 σ 값에 초기캐비테이션계수 σ_c 와 실용캐비테이션계수 σ_u 값을 대입하면 각각에 해당하는 한계유속을 구할 수 있다. 단, 손실계수(ζ)와 σ , σ_c , σ_u 이 모두 밸브개도에 따라서 다르며, 실용적으로는 밸브가 전개(90도)된 상태에서의 값들을 적용하는 것이 안전하다고 생각된다.

$$\sigma = \frac{H_2 + 10}{\frac{v^2}{2g}(\alpha + \zeta)} \quad (5)$$

이 식을 밸브배관 유속 v 에 관하여 정리하면 다음과 같이 된다.

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot (H_2 + 10)}{(\alpha + \zeta) \cdot \sigma}} \quad (6)$$

임의의 밸브에서의 정확한 한계유속을 산정하기 위하여는 무엇보다도 밸브개도에 따른 손실계수 값이 정확하게 제공되어야 한다. 다음으로 초기캐비테이션계수 σ_c 와 실용캐비테이션계수 σ_u 값이 밸브개도에 따라서 제공되어야 한다. 따라서, 제작업체는 납품시 반드시 제작된 밸브에 대하여 이러한 데이터를 수요처에 제공하여야 하며, 수요처는 이 데이터를 근거로 한계유속을 밸브설치조건에 따라서 결정하여야 한다. 또는 이와 반대로, 수요처에서 요구하는 밸브의 한계유속을 만족시킬 수 있는 밸브의 손실계수와 캐비테이션계수를 사전에 업체에 제시하여야 한다.

후 기

본 연구는 한국수자원공사의 2005년 용역과제인 댐체 비상방류밸브에 대한 안정성 점검 및 선정기준 수립에 관한 연구용역으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 한국수자원공사, 제 2 편 펌프 및 밸브설비공사