

수력댐 비상방류밸브에 대한 캐비테이션에 대한 연구

노형운* · 이영호** · 이갑수***

The Study of the Cavitation for the Urgency Released Valve in Hydraulic Dam

Hyung-Woon Roh*, Young-Ho Lee**, KabSoo Lee***

KeyWords : Urgency Discharge Valve(비상방류밸브), Hydraulic Dam(댐), Cavitation(캐비테이션), Butterfly Valve(버터플라이 밸브)

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. Therefore, there were investigated the valve cavitation and accident investigation by field survey to establish the applicable extensibility of the urgency released valve as the preliminary study.

1. 서론

댐이나 저수지가 대형화 되어감에 따라 다목적 댐, 즉 만수조절, 발전, 하천운영 등의 목적으로 사용되게 되었다. 이와 같은 다목적 댐에 있어서는 상당히 세밀하게 배수량을 조절할 필요가 있다. 댐의 높이가 높게 됨에 따라 배수설비도 크게 되어, 고수압 고속의 수류에 적합한 여러 가지 조작방법의 방류밸브가 연구되어 새로운 조건에서도 적합한 여러 종류의 방류밸브가 개발되었다^{(1)~(3)}.

미국의 “그랜드쿠리 댐”에서는 다수의 방류밸브를 설치하고 유량조절을 하고 있다. 1개의 방류밸브의 토출량은 수두로 조절한다. 이처럼 밸브의 수량으로 행하는 조절방법은 만족할 만한 결과를 얻지 못했다.

보다 경제적으로 유량을 조절하기 위해서는 밸브의 수를 적게 하고 밸브의 직경을 크게 하며 각 밸브 모두 유량조절이 가능한 밸브를 설치하는 것이다. 이와 같은 용도에 부응하기 위해서는 밸브는 대형화되지 않으면 안되며, 고 수압하의 임의의 개도에서도 손상 없이 사용되어야 한다.

철관의 중간에 있어 수류를 폐쇄하는데 사용한 버터플라이 밸브를 큰 방류량의 하류단에 취부해서 방류 조절에 이용한 예는 적기는 하지만 미국에 있다. 이 방법은 개도가 작을 때 사류가 산란하고 또한 다량의

* 아이베이, 대표

** 한국해양대학교 교수

*** 한국수자원공사 수자원개발처

책임저자 E-mail : rohlee@ivai.co.kr

분무가 발생하기 때문에 자유방류에는 적합하지 않다. 이러한 결점도 적당하게 공기도입장치를 설치한 피트를 사용하면 어느 정도 막을 수 있지만 그만큼 가격이 높아진다. 이 밸브는 다른 밸브보다 소형화가 가능하다. 또한 이 밸브의 방출계수는 같은 직경의 철관의 0.6배 즉 0.6이다.

그러나 버터플라이 밸브는 대부분 모두 고수압하, 전개 부분에서 사용하면 밸브 리브의 하류측 부분에 캐비테이션이 발생한다. 이것은 리브가 원형이고 피봇(pivot)이 있는 축 부분이 두껍고 단 끝으로 감에 따라 점점 얇아져서 전개 부근에서는 마치 비행기의 날개와 같은 형상을 하고 부분적으로 강한 부압이 발생해서 이 때문에 캐비테이션이 발생한다.

최근 기상악화로 "매미"와 "루사"와 같이 A급 태풍으로 인하여 댐체의 수위 조절을 빈번히 하게 되었고, 이에 대하여 비상 방류용 밸브의 사용이 많아졌다. 그러나 최근 할로우 제트 밸브(hollow-jet valve)보다 경제성 및 운영 유지관리에 편리하다는 이유로 저 유속 대 유량에 주로 쓰이는 버터플라이 밸브 등 수도용 밸브 류가 적용된 영천댐, 달방댐 및 달방댐에서 밸브 작동시 높은 진동과 소음이 심한 결과로 판명되었다.

이는 버터플라이 밸브의 구조상 축 및 디스크가 관로 내에 위치하므로 Cavitation 계수가 높고 Karman Vortex에 따른 진동에 의한 결과이다. 방류용 밸브의 경우 거의 비상시에만 사용되기 때문에 모든 현장에서 예비 방류용 밸브를 보유하고 있지 않다. 따라서 캐비테이션 및 진동으로 인한 밸브 및 배관의 손상은 비상 방류용 밸브의 정상적인 기능을 기대할 수 없게 되므로 댐체 비상방류밸브로, 밸브를 선정하기 위해서는 엄격한 적용기준이 필요하다. 그러나 상하수도 시설기준이나, 일본의 수압철관 기술기준, 한국수자원공사의 각종기준 등에 선정을 위한 판단자료가 미미한 실정이다.

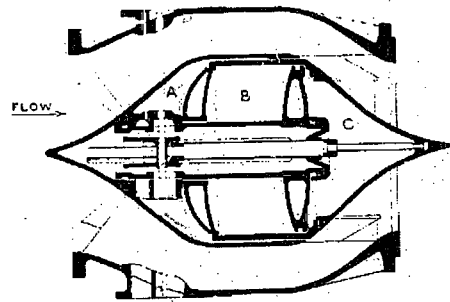
따라서 본 논문에서는 수력댐에 사용되는 비상방류용 밸브에 대한 종류를 조사하고 이에 대한 캐비테이션 관한 사고를 조사하므로써 비상방류밸브로 밸브를 선정 기준에 관한 연구에 기초자료로 사용하고자 하였다.

2. 비상방류용 밸브

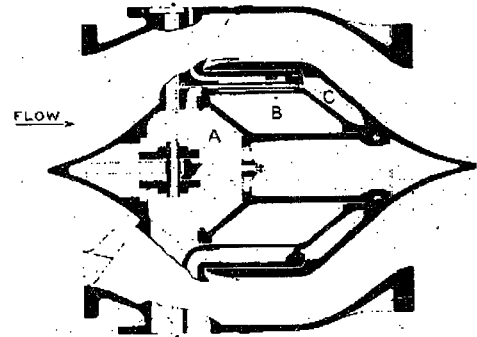
2.1. 니들밸브

니들밸브는 Fig. 1과 같이 본체와 리브 등으로 지지되어있는 고정식 실린더와 그 내측 또는 외측에 끼워

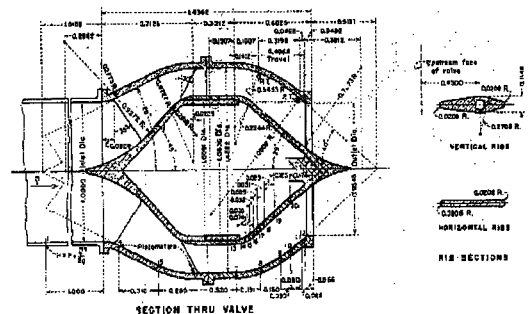
져 있는 신축되는 조절부로 구성되어있다. 평형밸브의 경우 플런저의 후부 가운데의 압력을 조절하는 장치가 붙어있다. 초기의 밸브는 방출수량에 대해 상당히 대형의 것이었고 캐비테이션에 의한 부식에 관해서는 안전한 것이 특징이었다. 최근에는 가격과 크기를 방출수량 당 중량을 감소시킬 수 있도록 설계를 개량하고 값싼 소형의 것으로 바뀌었다. 즉 플런저 외부의 링을 없애고 밸브자체의 치수를 상당히 소형으로 하는 것으로 개량되었다.



(a) Internal differential needle valve



(b) Interior differential needle valve



(c) Corrected needle valve

Fig. 1 Schematic diagram of the needle valve

이러한 개량을 거듭하여 “Internal differential needle valve”가 완성되었다. 이것은 밸브본체 내의 압력실의 압력을 변경함으로써 플런저가 출입하도록 한 것이다.

그러나 각 부의 누설 때문에 소기의 운전을 기대할 수 없었다. 그래서 여러 가지 개량이 행해져서 소위 “Paradox control” 방식이 채용되고 독립한 급수관이 취부된 콘젝트 중에 물이 없어도 수압으로 운전하는 것이 가능하게 되었다. 또한 밸브의 구조도 변화하여 “Interior differential needle valve”가 되었다. 그 주요한 개량 점은 고정실린더의 외측에 플런저를 씌우고 신축작용을 가능하게 한 점이다. 이 때문에 직경이 작아지고 중량도 25% 줄었지만 운전방법의 근본적인 변화는 없었다.

“Interior Type”도 물의 통로의 면적변화는 “Area shaping”이라는 방법을 사용해서 결정한 것이다. 이 방법은 흐름에 직각인 유수면적은 어느 일정한 비율로 위치와 함께 변화해서 유로면적을 결정하는 방법이다.

일반적으로 밸브의 하류부분 이외에서는 유수면적은 일정한 것이 보통이다. 하류부분에서는 유수면적은 부드러운 곡선 형태로 감소한다. 보통 물이 통과하는 면적과 수량의 비 즉, 평균유속은 전개의 경우에 있어서 기준점으로 부터의 거리를 밀변으로 잡고 “플롯트”한다. 이 “플롯트”한 부분으로부터 설계의 좋고 나쁨을 결정한다. 즉 부드러운 곡선으로 되면 좋은 설계라고 할 수 있다. 그러나 이 방법은 변화가 큰 경우 부분적으로 급격한 흐름이 있는 경우 또는 전개시 이외의(반개시) 유로면적 곡선의 성질 등을 고려한 경우에는 맞지 않으므로 이 방법에 의한 것이 언제나 만족할만한 설계가 된다고 할 수는 없다. 이 방법을 사용해서 설계한 초기의 밸브에서는 조절 플런저가 어느 위치에 오면 유로면적곡선이 급격히 변하고 하류단에서는 수류는 조금 밸브로부터 넓어져서 떨어져나가는 경향이 있다. 이 밸브는 수두가 낮은 경우에는 이와 같은 결점이 있음에도 불구하고 잘 운전되었다. 방출계수는 0.54로 이것은 밸브 직전에 총 수두를 수두로 하고 밸브출구 직경의 1.2배의 관경을 방출관에 설치한 경우를 가정한 것이다.

이러한 밸브를 조금 더 높은 수두하에서 운전하면 심한 부압이 발생한다. 그 결과 캐비테이션이 발생하여 경계층 부분에 큰 손상을 일으킨다.

이런 종류의 대형 밸브는 콜로라도 강의 후버댐과 와이오밍의 아르코바 댐의 방류장치에 사용되었다. 그

렇지만 이러한 밸브에 손상이 일어나서, 일련의 모형 실험을 행하고 캐비테이션 부식의 원인을 규명하고 부식이 일어나지 않는 형상의 연구를 행하였다. 최초 연구에서는 15cm의 모형을 사용해서 체적을 17% 줄일 수 있도록 개량되었다. 이 유출계수는 0.59였다. 앞선 설계의 것과 비교하기 위해서 총 수두와 밸브직경의 1.2배의 방류관 면적을 기준으로 해서 계산하면 이것은 0.45에 상당한다. 또한 이 실험결과 “Area shaping” 방법의 결점을 알게 되고 유로내의 수류에 대해서 상세하게 연구할 수 있는 수단으로서 “flow net” 방법이 채용되었다. 이러한 개량이 적절함을 확인하기 위해 예전 설계에 의한 형상의 것과 모형실험의 결과 이상적으로 생각되어지는 형상의 것을 실험하였다. 양자 모두 모형실험에서 무엇보다도 위험하다고 생각되어지는 개도에서 운전해 보았다. 구형 모형은 6일이 경과하였더니 캐비테이션에 의한 부식이 발생한 것에 반해 개량형의 것은 84일간 운전하였어도 부식의 징후는 보이지 않았다.

2.2. 튜브밸브

니들밸브의 조작력의 경감과 동시에 중량의 경감을 도모하기 위해 Fig. 2와 같이 니들 플런저 대신에 튜브를 사용하게 되었다. 튜브를 사용하는 첫 번째 이유는 캐비테이션 부식에 노출된 니들의 표면적을 줄이기 위해서이다. 두 번째는 운전시에 있어서 수충격압을 줄이기 위해서이다. 유로단면 현상은 부압이 발생하지 않도록 모형실험에 의해 형상을 결정한다. 이 밸브의 방출계수는 0.52로 이것은 밸브로부터 밸브직경만큼 상류점에 있어서 총 수압과 밸브직경을 베이스로 해서 산출한 것이다. 튜브밸브의 사류안정성이나 캐비테이션에 의한 부식정도는 개량형 니들밸브와 30% 이하의

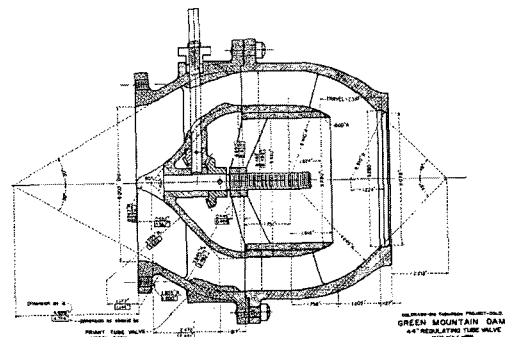


Fig. 2 Installed tube valve at Green mountain dam

개도의 경우에는 구별하기 어렵다. 30% 이하의 개도에서는 니들단부의 안정작용이 작용하지 않기 때문에 사류가 불안정해진다. 개도가 작은 경우에 이 불안정한 요소가 있어도 지장이 없는 2~3곳의 지점에서 앞에 기록한 튜브밸브가 설치되었다. 이와 같은 실례로는 캘리포니아 주의 사스타 댐에 설치된 것이 있다.

2.3. 할로우 제트 밸브

이것은 본질적으로는 니들밸브와 같은 것이지만 Fig. 3과 같이 본체의 하류측 절반을 제거한 형상을 하고 있다. 할로우 제트 밸브는 방류관의 하류단에 취부한 밸브로 튜브밸브보다 가벼우며 유량도 약 35% 증가시켜 방류할 수 있도록 개조한 것이다. 이 밸브는 개도에 관계없이 언제나 일정두께의 중공상의 사류를 방출한다. 이 사류는 개도에 관계없이 거의 퍼지지 않고 방출되고 중공상이기 때문에 에너지가 광범위하게 확산되어 감쇄하기 쉽고 하류수로를 파괴하지 않는다. 기체역학과 유체역학을 이용하여 많은 모형실험을 행한 결과 캐비테이션이 발생하지 않는 형상을 구할 수 있었다. 또한 실험결과 개폐 플런저의 행정을 5.5% 증가하면 토출용량이 3.5% 증가하고 유출계수도 증가함을 알 수 있었다. 또한 이와 같이 변경하면 밸브 본체의 일부분에 대기압보다 조금 저하하는 장소가 발생하는 것을 알았다. 그러나 조정방류밸브는 전개 상태로 운전한 경우는 거의 없기 때문에 이 정도의 부압은 지장을 주지 않는다. 현재 밸브가 받는 수압의 일부를 수압 또는 유압에 의해 밸런스 시켜 기계적으로 조작하도록 설계되어 있다. 완전한 밸런스는 특별한 장치를 부가하지 않으면 어렵다.

그러나 총 수압의 13% 정도의 수력 밸런스는 폐쇄 플런저의 니들부 전면에 구멍을 뚫는 것으로 가능해진다. 이 구멍의 적당한 위치는 150~600mm 밸브를 사용해서 실험하여 불평형역을 최소한으로 하는 위치를 결정한다. 할로우 제트 밸브의 이점의 하나는 수밀부로부터 하류의 밸브 본체는 총 수두와 같은 수압과 같지 않는다는 것이다. 이 때문에 니들밸브나 튜브밸브처럼 무거워지지 않는다. 이에 부가하여 할로우 제트 밸브는 수리에 필요한 기계적 부분을 간단히 떼어낼 수 있는 이점이 있다.

2.4. Howell-Bunger 밸브

미국에서는 다른 방류밸브를 점차 할로우 제트 밸

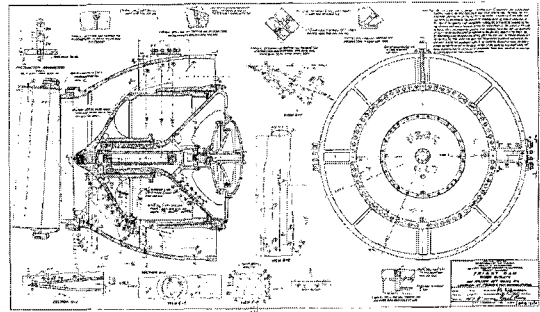


Fig. 3 Drawing of installed the hollow jet valve at friant Dam

브로 전환하고 있지만 다른 종류의 밸브도 널리 사용되고 있다. 설계가 간단하고 가벼운 평형밸브로 하우엘 방가 (Howell-Bunger) 밸브라고 이름 붙여진 특허를 갖는 밸브도 종종 사용되고 있다 (Fig. 4). 이 밸브는 큰 밸브의 종류이며 유출계수는 0.85이다. 이 밸브는 방출관 하류관에 방사상의 리브에 취부된 90도 각도의 원추 및 밸브시트 방출관의 외측을 미끄러지는 폐쇄형 외통 및 조작기구로 구성되어 있다. 물은 리브 사이를 통과하고 폐쇄실린더의 하류와 원추 사이를 통해 방출한다. 사류는 밸브 내에 정점을 갖는 원추상에 확산된다. 이 사류가 광범위하게 비산해도 지장이 없는 장소에 적합하다. 미국에서는 발전소 등에서 전기 설비가 있는 곳에서는 이와 같은 사류로는 부적당하므로 그다지 널리 사용되지는 않고 있다. 어느 장소에서는 이러한 사류를 콘크리트 벽으로 막기 때문에 이로 인해 설치비용이 상당히 증가하기 때문이다.

그러나 모형실험에 의해 간단한 피트를 취부해서 사류의 상태를 개선하는 연구가 행해졌다. 실험결과 피트의 상단에 충분한 공기를 넣지 않으면 밸브 본체나 피트에 캐비테이션을 일으키는 것이 판명되었다.

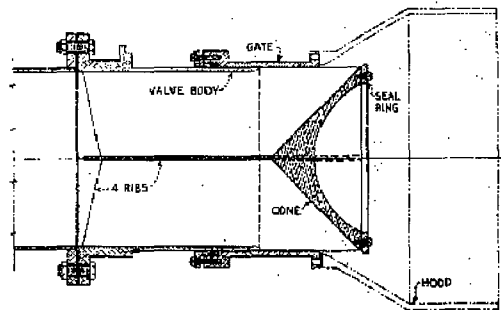


Fig. 4 Schematic diagram of Howell-Bunger valve

또한 피트를 붙여놓았기 때문에 수압에 의해서 수력을 발생시켜 밸브 개폐에 커다란 힘이 필요하게 되었다. 독립한 피트도 사용하게 되었지만, 고수압 하에서는 심한 진동을 일으키기 때문에 드래싱이나 보강재를 많이 필요로 했다. 또한 피트 취부로 인해 다른 밸브보다도 가격이 높아졌다. 그러나 사류가 확산해도 지장이 없는 장소에서는 피트가 없는 하우엘 방가 밸브는 경제적인 대용량의 조절밸브이다.

2.5. 버터플라이 밸브

철관의 중간에 있어 수류를 폐쇄하는데 사용한 버터플라이 밸브를 큰 방류량의 하류 단에 취부해서 방류조절에 이용한 예는 적기는 하지만 가격이 저렴하기 때문에 사용되고 있다. 이 방법은 개도가 작을 때 사류가 산란하고 또한 다량의 분무가 발생하기 때문에 자유방류에는 적합하지 않다. 이러한 결점도 적당하게 공기도입장치를 설치한 피트를 사용하면 어느 정도 막을 수 있지만 그만큼 가격이 높아진다. 이 밸브는 다른 밸브보다 소형화가 가능하다. 또한 이 밸브의 방출계수는 같은 직경의 철관의 0.6배 즉 0.6이다.

그러나 버터플라이 밸브는 대부분 모두 고수압하, 전개 부분에서 사용하면 밸브 리브의 하류 측 부분에 캐비테이션이 발생한다. 이것은 리브가 원형이고 피벗이 있는 축 부분이 두껍고 단 끝으로 감에 따라 점점 얇아져서 전개 부분에서는 마치 비행기의 날개와 같은 형상을 하고 부분적으로 강한 부압이 발생해서 이 때문에 캐비테이션이 발생한다.

2.6 제트 플로 밸브

고압 대용량의 흐름을 조절할 수 있는 밸브에 제트 플로 밸브, 제트플로게이트가 등장하였다. 미국은 사스타담에 사용하려고 한 튜브밸브가 너무 고가였기 때문에 이 밸브의 개발에 착수했다. 이 밸브는 Fig. 5와 같이 상류 측에 오리피스에 있는 밸브실과 하류 측에 원형, 단형, 또는 마형 개구형태를 갖는다. 또한 오리피스에 그 직경의 1.2배의 방류관이 연결되어있다. 방류관이 가는 경우에는 오리피스의 상류 측에 소요 직경을 두껍게 해도 좋다. 하류 측의 방류관은 만약 형상의 변화가 부드럽고 반개시에 사류에 충분한 공기를 도입할 수 있도록 한 것이라면 어떠한 형상이라도 지장이 없다. 공기는 수문 바로 다음의 하류 측으로부터 주입한다.

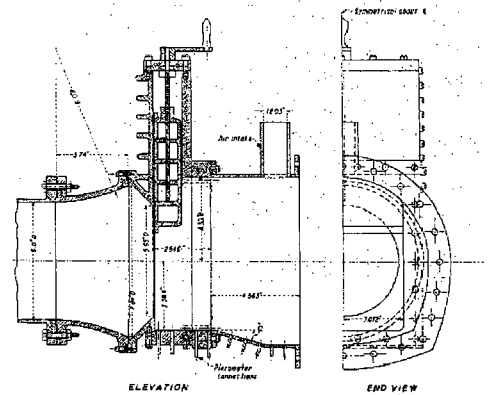


Fig. 5 Schematic diagram of installed jet flow valve at Platoro dam

이 밸브의 특징은 사류의 수축에 있다. 물은 큰 직경의 방류관으로부터 오리피스를 통과하기 때문에 어떤 개도에 있어서도 사류는 수축한다. 이 때문에 사류에 의한 공기도입이 잘 행해져 슬라이드 게이트의 손상이나 진동의 원인이 되는 물의 유입을 감소한다.

게이트의 상류 면은 평평한 활면으로 밸브실의 오리피스 측에 있는 수밀장치와 접한다. 상류측 수밀은 하류측 수밀의 경우에 발생하는 인하력을 경감하는데 유효하다. 이 게이트의 치수형상은 15mm의 모형을 제작해 90m까지의 수두 하에 있어서 캐비테이션 부식이 발생하지 않도록 많은 실험결과 결정된 것이다. 이 밸브는 구조가 간단하고 어떠한 개도에서도 조작가능하며 또한 비교적 방출량도 크다. 방출계수는 밸브 오리피스의 직경과 같은 형의 방류관에 대해 0.80이다. 이 밸브는 사스타담에 최초로 사용되어 비공식 보고에 의하면 고수압 조절밸브로서 최적의 밸브의 하나이다. 사스타담의 경우 극히 작은 배압 하에서 조작된 것이므로 상당히 높은 배압의 경우의 방류에 관해서는 의문이 남는다. 장래에 이와 같은 상태 하에서 사용하려고 하면 보다 면밀한 연구조사가 필요하다.

3. 밸브 내 캐비테이션 이론

3.1 캐비테이션⁽⁴⁾

유동하는 액체속에서 유속의 증가나 압력의 감소로 유체의 정압이 부분적으로 증기압 이하로 저하했을 때 액체가 증발하여 기포가 발생한다. 이와 같이 액상 (liquid phase)이 기상 (gas phase)으로 상변화 (phase

change)를 하고, 액상과 기상이 공존하는 이상유동(two-phase)현상을 캐비테이션이라 한다.

캐비테이션은 19세기 말 영국의 구축함 HMS Dearing 호가 예상보다 속도가 떨어지는 원인을 연구하던 중 발견되고, 1895년 R. E. Froude에 의해 명명되었다. 캐비테이션이 펌프나 밸브와 같은 유체기계에서 발생하면 성능의 저하, 소음, 진동의 발생, 구성부재의 침식(erosion)이나 손상(damage) 등을 가져오는 원인이 된다. 이 때문에 캐비테이션을 동반하는 유동의 해명과 예측기술의 향상은 고속 유체기계 설계 및 개발에 있어서 중요한 과제가 되고 있다.

3.2. 캐비테이션의 종류

캐비테이션의 종류와 모양은 유동조건에 따라 다르고, 또 그 종류에 따라 영향도 다르다. 캐비테이션은 보통 발생 형태에 따라 다음과 같이 분류된다.

- (1) 버블 캐비테이션 : 주로 저압부에서 발생하고 하류 쪽으로 유출하면서 성장 및 붕괴하는 구(sphere)형에 가까운 기포를 말하며, 캐비테이션의 거동으로 보아 진동 캐비테이션이라고 한다. 기포가 크며 반구형상이 된다.
- (2) 시트 캐비테이션 : 부재 표면에 부착하여 발생하는 기포로 보통 전연(leading edge) 부근에 선단을 갖고 기포 후단은 유동과 함께 형상이 변화한다. 거동상 고정된 캐비테이션 이라고도 한다.
- (3) 보텍스 캐비테이션 : 와류 중심의 저압부에 발생하는 기포로, 다수의 기포 열이나 집합체로 구성된 면상 형상의 캐비테이션을 말한다.
- (4) 기포군 캐비테이션 : 다수의 기포의 집합체로 시트 캐비테이션 등의 후단에서 유동중에 방출되는 기포군을 의미한다. 침식이나 높은 소음을 유발할 위험성이 크다.

또한 발생장소에 따라 부압면 캐비테이션(cavitation on suction side), 압력면 캐비테이션(cavitation pressure side), 누수 캐비테이션(Leakage cavitation), 팁 보텍스 캐비테이션(Tip vortex cavitation)으로 분류하기도 하며, 유동형태에 따라 캐비테이팅 유동(cavitating flow), Cavitation surge, 역류 보텍스 캐비테이션(vortex cavitation in reverse flow), 선회 캐비테이션(rotating cavitation), 분류 캐비테이션(cavitation liquid jet) 등으로 분류하기도 한다.

3.3. 캐비테이션의 특징

캐비테이션을 동반하는 유동을 캐비테이팅 유동이라 하며, 다음과 같은 특징을 갖는다.

- (1) A phase change phenomena
- (2) Mixed incompressible/compressible nature
- (3) Large range of sound speed
- (4) Large variations of the local mach number
- (5) Wide range of void fraction
- (6) Complicated unsteady flow

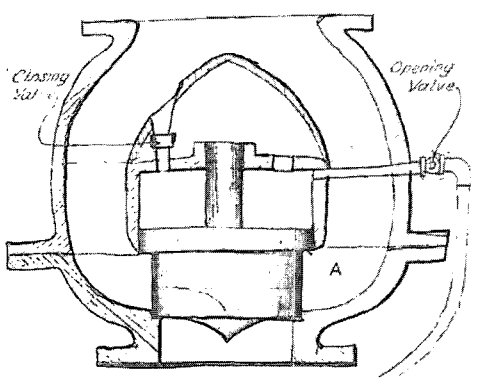
본 연구에서 적용된 밸브 유동장은 (1)과 (5)에 해당되는 매우 복잡한 유동장이다.

4. 사고사례

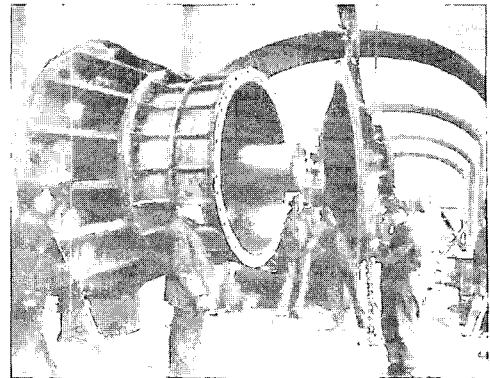
4.1 캐비테이션에 의한 부식

20세기 초기 고수압 방류설비에 Fig. 6과 같은 여러 개의 380 mm 엔싸인 밸브(ensign valve)가 유량조절을 위해 설치되었다. 그 대표적인 것이 애리조나주의 루즈벨트댐, 아이다호주의 아로코크댐, 와이오밍주의 파인다도 쇼손댐, 뉴멕시코주의 에리판토대스댐 등이다. 각 댐의 방류설비는 댐의 상류면 또는 하류면 근방에 엔싸인 밸브를 배치해서 설치하였다. 모두 밸브로부터 방류관에 방출하도록 되어있다. 운전을 시작해서 얼마 지나지 않아, 특히 30m 이상의 수두의 밸브에 니들 정점, 후부라이너, 밸브 바로 아래의 방류관에 일률적인 손상이 발견되었다. 대부분 그 손상정도는 매우 심하고 방류작업을 계속하는 것은 위험할 정도로 생각되었다.

이 파괴현상은 절대압력의 저하(고도의 진공)와 관련 있을 것으로 인식되었다. 이 손상을 없애기 위해 여러 가지 시험이 행해졌지만 효과가 없었다. 최초에는 손상개소에 "퍼티"를 붙여 수리했다. 콘크리트 면은 파서 오목한 부분에는 콘크리트 모르타르를 투입하고 금속표면의 구멍에는 "스무스 온"이라고 하는 철분, 염화암모늄, 유황의 혼합물로 충전시켰다. 그러나 이 충전물이 불완전하였기 때문에 용접에 의해 구멍을 메우는 시도가 이루어졌다. 대부분 예외 없이 충전물은 모재보다도 빨리 부식해버렸다. 이 부식의 원인이 압력 저하에 기인한 것이라는 것을 안후에는 압력저하 현상을 없애기 위한 시도가 행해졌다.



(a) Ensign's original sketch



(b) Installed valve

Fig. 6 Schematic diagram of Ensign valve

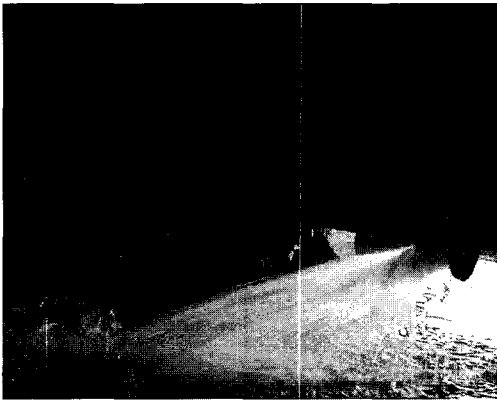


Fig. 7 Leakage at bottom seat of butterfly valve due to the cavitation at Gwangdong Dam

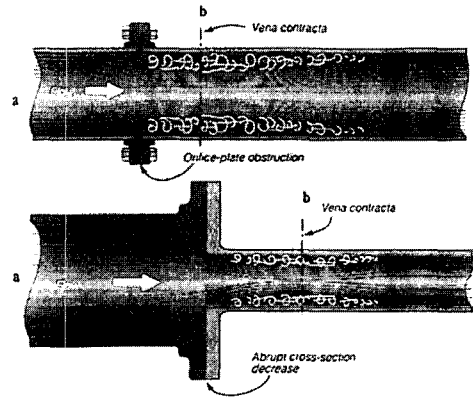


Fig. 8 Turbulent and vena contracta phenomena at the orifice contraction

여러 종류의 크기의 콘크리트 라이너를 밸브하류의 방류관 중간에 설치하고 하류의 확산을 막고 압력을 높이는 시도가 행해졌다. 라이너의 두께가 충분하고 방류관의 끝단에서는 밸브를 전개로 운전하는 경우에는 손상이 발생하지 않았다. 그러나 반개의 경우에는 효과가 없었다. 또한 압력저하를 막기 위해 공기도입을 시도해 보았다. 공기관을 여러 개 설치해 보았지만, 그 위치가 적당하지 않아서 대부분 성공하지 못했다. 여러 가지 시험에 실패한 결과 방류는 가능한 한 좁은 범위에서 행하게 되었다. 저수지의 용도가 다목적으로 됨에 따라 밸브를 교축하여 운전하게 되는 것은 곤란하게 되었다.

4.2. 캐비테이션 부식에 의한 누수

광동댐의 비상방류밸브는 1,500 mm의 버터플라이

밸브를 사용하고 있다. 현장 진동 측정 결과 밸브의 개도 30~70% 사이에서 2.5 mm/s의 진동이 수평과 수직에서 일어나고 있었다. 이러한 원인은 밸브 시트의 개폐에 의한 캐비테이션 결과로 판단된다. 본문에서 언급되었지만, 방류용 형태로 설치된 버터플라이 밸브의 캐비테이션은 관벽면을 통하여 전파되고 있음을 알 수 있다.

Figure 7에서 볼 수 있듯이 밸브 후단으로 2D 정도 되는 하단 밑에서 배관이 파손이 되어 누수가 되는 것을 볼 수 있다. 이는 Fig. 8에서 설명할 수 있을 것이다.

4.3. 진동으로 인한 밸브 전동기 고장

영천댐에서 비상방류밸브로는 1,200 mm의 버터플라이 밸브를 사용하고 있다. 현장 진동 측정 결과 밸브의 개도 30~70% 사이에서 상당히 심하게 일어나고 있

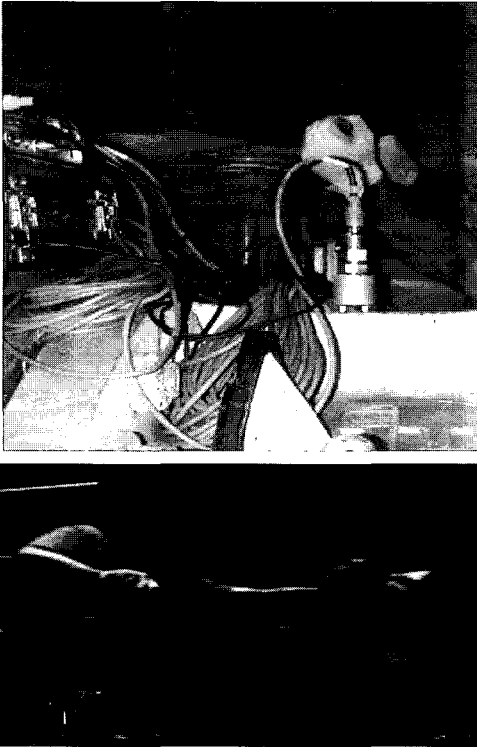


Fig. 9 Operating manually to open or to close the valve due to the breakdown

음을 알 수 있었다. 이러한 원인은 밸브 시트의 개폐에 의한 캐비테이션 결과로 판단된다. 즉, 이러한 원인으로 인하여 밸브 구동부 연결 워 감속기의 떨림 현상 등이 발생되었고, 이에 고장이 발생되어 밸브의 비상

방류시 밸브 개폐를 Fig. 9와 같이 수동에 의하여 진행되고 있음을 알 수 있다.

5. 결론

비상방류밸브는 배관 중에 있는 밸브와 비교하여 볼 때 유속과 압력이 차이가 많이 남을 조사하였다. 이에 따른 사고조사를 살펴 본 결과 캐비테이션에 의하여 사고가 많이 났음을 알 수 있었다. 특히 비상방류밸브로 버터플라이 밸브를 사용한다면 밸브의 구조상 축 및 디스크가 관로 내에 위치하므로 Cavitation 와 진동에 의하여 실패할 경우가 많음을 알 수 있다.

따라서 캐비테이션 및 진동으로 인한 밸브 및 배관의 손상은 비상방류시 밸브의 정상적인 기능을 기대할 수 없게 되므로 댐체 비상방류밸브로 밸브를 선정하기 위해서는 엄격한 적용기준이 필요하고 이에 대한 현장 실험과 CFD 및 PIV를 통한 연구가 반드시 필요하다.

참고문헌

- (1) 한국수자원공사, 2005, 댐체 비상방류밸브에 대한 안정성 검토 및 선정기준 수립 용역보고서.
- (2) 일본 상수도 협회, 1987, 수도용 밸브 핸드북.
- (3) Hydraulic gate and penstock association, Technical standards for gates and penstocks.
- (4) 유체기계공업학회, 제 1회 부식과 마모 강습회.