

상류측 교란요소가 역지 밸브 성능에 미치는 영향

Effects of Upstream Disturbances on Check Valve Performance

김양석, 김대웅, 박성근, 홍승열
한국전력공사 전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

스윙형 역지 밸브의 열림 특성과 디스크의 완전 열림 위치에서 안정적인 밸브 운전을 보장할 수 있는 최소요구유속은 밸브의 성능을 나타내는 주요 인자들이다. 본 논문에서는 이러한 인자들을 평가하고 이로부터 역지 밸브의 운전영역을 결정하는 방법을 제시하였다. 또한 결정된 운전특성과 운전영역으로부터 특정 부품에 대한 마모 및 피로해석 방법을 간략히 기술하였고 역지 밸브 상류측 교란요소의 영향을 고려하여 밸브 열림 특성을 평가할 수 있는 모델을 제시하였다.

Abstract

The opening characteristics and the minimum required flow velocity, which guarantees to fully open the disc and hold the disc without motion, are major factors to identify the performance of a swing check valve. In this paper, the method to evaluate those two factors is presented to determine the operating region of the swing check valve, such as stable, tapping, or oscillation. Based on the determined operating region and opening characteristics, the simple methods of wear and fatigue analyses of the specific parts of the valve are also described. In addition, a model is presented to evaluate the valve opening characteristics considering the effects of upstream disturbances.

1. 서 론

역지 밸브는 펌프가 정지할 때 역류를 막고 밸브 하류측의 탱크 또는 배관내 유체의 배

수를 막는 역할을 한다. 또한 과도한 압력손실 없이 설계유량을 통과시키는 역할도 해야 한다. 이러한 기능을 수행하기 위해서는 쉽게 열리고, 작은 유속에서도 안정적으로 열림 상태를 유지할 수 있어야 하며, 부분 개방 또는 유속이 감소된 조건에서도 디스크의 안정성이 보장되어야 한다. 또한 밸브가 닫힐 때에도 역류 유속에 의한 디스크 Slamming을 최소로 할 수 있어야 하며 닫힌 후에는 누설을 최소화하여야 한다. 역지 밸브의 고장은 심각한 운전과도상태를 유발하기도 하며 원자력발전소의 가동을 감소를 포함한 경제적 손실을 가져올 수도 있다. 이에 따라 역지 밸브의 성능을 개선시키고 성능저하를 감시할 수 있는 기법과 방법론들이 주로 기기의 고장이력자료를 근거로 개발되었다.

그러나, 이러한 고장 및 정비이력 자료에 대한 분석이 역지 밸브 성능개선이나 상태감시에 필수적이기는 하지만, 밸브성능에 대한 정량적 평가 역시 중요하다. 특히, 스윙형 역지 밸브는 밸브의 선정, 설치 및 운전과정에서 그 형상과 기능이 단순하다는 점 때문에 성능 특성의 대부분이 흔히 무시되어 왔고 서로 다른 유동조건에서 밸브의 거동 또한 잘 알려져 있지 않았다. 역지 밸브의 기능을 수행하기 위한 역지 밸브의 유동 성능 특성에는 유속에 따른 밸브의 열림 특성, 밸브의 안정적 열림을 보장하는 최소요구유속, 설계유량에서의 압력손실, 부분개방상태에서의 디스크 안정성, 상류측 교란요소에 따른 디스크 영향, 디스크의 닫힘 특성, 밀봉능력, 유지보수의 편의성 등이 있다. 이와 같이 역지 밸브의 성능 특성에 영향을 미치는 인자중 밸브 상류측의 교란요소는 배관내 유동특성, 특히 유속 분포를 왜곡시키고 역지 밸브 디스크의 거동에 영향을 주어 아주 빠른 유속에서도 밸브가 완전히 열리지 않거나 안정적인 밸브 운전을 보장하지 못할 수도 있다. 따라서 밸브 상류측 교란요소의 형태와 밸브에서의 설치거리는 최소 요구 유속을 포함한 역지밸브의 성능에 영향을 미치기 때문에 이에 대한 평가가 필요함을 알 수 있다.

본 논문에서는 스윙형 역지 밸브에 대한 성능 평가의 기초가 될 수 있는 밸브 디스크의 열림 특성과 최소요구유속, 그리고 특정 부품의 마모 및 피로해석 방법에 대해 기술하고, 역지 밸브 상류측의 교란요소에 의해 이러한 성능 특성들이 어떻게 영향을 받는지 살펴보고자 한다.

2. 역지 밸브 열림 특성 및 성능 평가

2.1 역지 밸브 열림 특성

Fig. 1은 스윙형 역지 밸브에 대하여 유속에 따른 디스크 위치를 디스크각으로 나타낸 것으로 유속에 따라 크게 세 가지 영역(Oscillation, Tapping, Stable)으로 나눌 수 있다. 디스크의 열림 초기에는 디스크의 진동이 거의 없으나 유속이 일정속도에 도달하게 되면 디스크의 진동이 커지기 시작한다. 이와 같은 Oscillation 영역은 디스크의 진폭이 일정 크기 이상으로 커지기 시작하는 지점에서 디스크가 백스탑에 닿기 직전, 즉, 디스크와 백스탑 사이에 Tapping이 발생하기 직전까지의 영역이다. 이 영역에서는 디스크 스티드에

는 어떠한 충격도 발생하지 않지만 이 영역에서 오랜 시간 운전하게 되면 힌지핀이나 부상에서는 디스크의 진동으로 인하여 마모가 과도하게 발생할 수 있다. Tapping 영역에서는 유속이 점점 증가함에 따라 국부적인 난류 유동 또는 계통내 유동 변동에 의하여 디스크와 백스탑이 접촉과 분리를 반복하게 된다. 이 영역은 밸브 디스크가 완전열림위치에 가까운 위치에서 운전되거나, 완전열림위치에 있더라도 Tapping이 발생하지 않을 정도로 충분한 유속이 존재하지 않은 상태에서의 밸브 운전 영역이다. 이러한 Tapping 현상은 유속을 더 증가시킴으로써 밸브 디스크를 백스탑에 확실히 접촉하도록 하여 방지할 수 있다. Fig. 1에 나타낸 바와 같이 Tapping 영역은 유속을 기준으로 Tapping이 시작되는 유속에서 안정적 밸브 열림을 위한 최소 요구 유속 사이의 영역에 해당되며 이 영역에서는 힌지핀이나 부상에서의 마모뿐만 아니라 백스탑과의 반복적인 충격으로 인하여 디스크 스테어드에도 피로손상이 발생할 수 있기 때문에 이 영역에서 운전되고 있는 밸브에 대해서는 주요 부품의 마모뿐만 아니라 피로에 의한 손상 가능성을 염두에 두어야 한다.

한편, Fig. 1에 나타낸 밸브의 특성곡선은 역시 밸브 상류측 유동을 완전히 발달된 균일 유동으로 가정하였을 경우를 나타낸 것이며, 상류측에 설치되어 있는 교란요소의 유형이나 밸브로부터의 거리에 따른 특성 변화는 3절에서 기술하고자 한다.

2.2 역지 밸브 성능 평가

Fig.2에 나타낸 바와 같이 역지 밸브의 성능을 평가할 때는 평가하고자 하는 역지 밸브의 열림 특성을 검토하고 밸브의 운전 영역과 마모 및 피로도 평가 수행 여부를 결정한다. 다음 필요한 상세 해석을 수행한다. 밸브의 열림 특성은 배관내 균일유속분포를 가정한 최소요구유속 계산, 상류측 교란요소 영향을 고려한 최소요구유속 평가가 중요한 평가 요소가 된다. 여기서 구한 최소요구유속을 포함한 열림 특성과 배관내 유체의 평균유속으로부터 밸브의 운전영역을 결정할 수 있다. 역지 밸브의 운전영역이 Tapping 영역이면 밸브의 특정부품에 대한 마모 및 피로도 평가를 수행하고 운전영역이 부분개방상태인 Oscillation 영역이면 마모 해석을 수행하여 밸브의 건전성과 성능을 평가한다.

최소 요구 유속 및 밸브 운전 영역 평가

밸브 완전열림에 필요한 최소요구유속을 계통에서 제공하지 못한다면 유동으로부터 유발된 디스크 진동 및 지속적인 디스크 Tapping에 의하여 특정부품의 마모 또는 누적된 피로에 의한 고장이 발생할 수 있다. 따라서 역지 밸브가 어떤 계통에 설치되어 본래의 의도된 성능을 보여주기 위해서는 밸브 완전 열림을 위한 최소요구유속인 V_{open} 과 안정적 밸브 열림을 보장할 수 있는 최소요구유속인 V_{min} 에 대한 정보가 필수적이다. V_{open} 과 V_{min} 에 대한 기존 모델들을 Table 1에 나타내었는데, 일반적으로 최소요구유속은 밸브 제작사에서 제공되지만 V_{open} 과 V_{min} 에 대한 개념을 뚜렷이 구분하여 제시하지는 않았다⁽¹⁾.

그러다가, Chiu & Kalsi⁽²⁾ 및 EPRI⁽³⁾가 밸브 완전열림을 위한 최소요구유속에 대한 정보의 부재를 지적하면서 이론적인 최소요구유속 관계식을 개발하였다. 이들 모델은 스윙형 역지 밸브 디스크에 작용하는 유동 모멘트와 관성 모멘트 그리고 디스크와 밸브 힌지 압의 무게를 고려하여 V_{open} 을 예측한다. 또한 시팅힘에 대한 최소 20%의 SFM(Seating Force Margin)을 도입하였는데 이는 $V_{min} \approx 1.1 V_{open}$ 에 해당한다. Rahmeyer⁽⁴⁾는 스윙형 역지 밸브에 대하여 유동 모멘트 및 관성 모멘트, 디스크 및 밸브 압의 무게뿐만 아니라, 밸브 전·후단 압력차와 밸브 완전 열림시 백시팅 힘을 고려하여 V_{min} 모델을 제시하였다. 이때, 밸브 전·후단 압력차와 밸브 완전 열림시 백시팅 힘은 실험상수를 도입하여 하나의 항으로 통합하여 나타내었다. Kim et.al⁽⁵⁾은 밸브 전·후단 압력차와 밸브 완전 열림시 백시팅 힘에 의한 모멘트를 분리하여 또 다른 V_{min} 모델을 제시하였다.

Fig.3에 Kim et.al.의 모델을 이용하여 24인치 스윙형 역지 밸브의 평균유속에 따른 밸브 디스크의 열림위치를 나타내었는데 밸브를 통과하는 유속에 따른 밸브의 운전영역도 함께 나타내었다. 여기서 V_{min} 을 평가할 때 필요한 정보중의 하나인 Tapping 영역에서의 최대 디스크 변동각은 8deg.로 가정하였다. 이 경우, $V_{min} = 19.7\text{fps}$ 가 되는데 측정값(18fps)보다 더 큰 값이다. 측정값과 동일한 값이 예측되는 디스크 변동각은 6.8deg.에 해당된다(Fig.4 참조). Tapping 영역이 시작되는 유속은 V_{open} 의 0.7로 가정하였으며 이 값은 실험을 통하여 확인할 예정이다. 디스크 변동각에 따른 V_{min} 의 영향은 Fig.4에 나타내었는데, 디스크 변동각이 없을 경우에는 $V_{min} = V_{open}$ 이 된다. 이 의미는 V_{open} , 즉 디스크가 완전히 열린 상태에서 디스크의 변동 또는 진동이 거의 없다는 것이고 디스크가 안정적으로 열려 있다는 의미가 된다. 그러나 V_{open} 이상의 유속에서 디스크 변동각이 0보다 크다는 것은 안정적인 완전 열림상태가 아니라는 의미가 되며 완전열림상태에서 디스크 변동각이 0이 되도록 하기 위해서는 더 큰 유속이 필요하기 때문에 $V_{min} > V_{open}$ 이 된다. 동 밸브에 대한 계통운전조건이 Oscillation 영역이나 Tapping 영역에 해당되고 이 영역에서 장시간 운전된 이력이 있거나 운전되고 있다면 다음에 기술된 마모 및 피로해석이 필요하다.

마모 및 피로 해석

스윙형 역지 밸브가 Oscillation 영역 또는 Tapping 영역에서 장시간 운전되는 경우, 힌지핀과 부싱에서 마모가 발생되어 밸브의 성능이 저하될 수 있다. 스윙형 역지 밸브의 작동에 따라 밸브의 성능저하를 일으킬 수 있는 부품인 힌지핀과 부싱의 단위시간당 마모량, 즉 마모율을 예측하기 위해서는 유동의 변화로 인한 밸브 디스크의 회전속도, 접촉부에 작용하는 하중, 마모 발생부품의 접촉 길이 및 시간 등이 필요하다. 힌지핀과 부싱의 상대속도는 디스크의 선속도로 가정할 수 있으며 디스크의 선속도는 마모가 발생할 수

있는 운전영역에서의 디스크 변동각 및 변동주파수를 이용하여 디스크의 각속도를 유추해 낸 다음 이를 이용하여 보수적으로 평가할 수 있다. 피로해석은 피로에 의한 손상이 발생할 수 있는 부품에 대한 충격력과 충격 발생 빈도를 예측하여 피로도를 평가한다. 스윙형 역지 밸브인 경우 피로손상이 발생하는 부품은 디스크 스테드 및 스테드 볼트 부위로 알려져 있는데, Tapping 영역에서 운전되고 있다고 판단되면, 디스크 스테드와 백스탑과의 충격력을 구한 다음, 스테드의 축응력 및 굽힘응력, 그리고 스테드의 Alternating Stress를 계산하여 밸브 운전시간과 피로곡선으로부터 피로도를 평가한다. 이때 디스크의 운동에너지는 백스탑과의 접촉순간 모두 스트레인 에너지로 전환되고, 디스크 스테드는 선형적으로 거동하는 스프링으로 가정하며, 또한 디스크 스테드로 전달되는 다른 에너지 손실도 없다고 가정한다. 충격 순간의 디스크의 최대 선속도를 결정하기 위하여 디스크의 변동주파수를 이용할 수 있는데, 유체의 스프링 강성도를 기준으로 한 디스크의 고유진동수, 배관의 에디 주파수, 또는 디스크 각속도에 대한 실험식을 이용하여 디스크의 변동주파수를 추정할 수 있다.

3. 상류측 교란 요소 영향

다른 유형의 밸브와 마찬가지로 역지 밸브의 성능 및 유동특성도 일반적으로 긴 직관에서 시험된다. 이와 같은 실험으로부터 얻어진 유량계수는 실제 운전조건에서의 유량이나 압력강하량 등을 예측하는데 이용된다. 그러나, 실제 설치조건이 시험조건과 유사하다면 문제 없지만, 설치 공간의 제약으로 인하여 실험조건과 유사하게 설치되는 경우는 매우 드물다. 따라서 실제 설치되어 있는 배관 구성 요소(엘보우, 축소관, 오리피스 등), 유량조절 밸브, 펌프 또는 압축기 등 여러 가지 유동교란요소들과의 상대적 설치 위치를 고려함이 바람직하다. 상류측 교란 요소의 영향을 받는 정도는 유동 교란 요소의 유형과 설치상태, 그리고 역지 밸브와 설치위치까지의 거리에 따라 달라지는데, 여기서는 이러한 인자들이 역지 밸브의 성능에 미치는 영향을 살펴보았다.

교란 요소 유형 및 설치상태에 따른 영향

역지 밸브의 상류에 설치될 수 있는 교란 요소들은 설치 상태에 따라 배관내 유속분포를 변경시키고 난류 강도를 증가시키므로써 역지 밸브의 열림 특성에 영향을 미친다. 이런 측면에서 축소관은 축방향의 유동변동 또는 난류강도를 오히려 감소시킨다고 알려져 있기 때문에 역지 밸브의 열림 특성에 큰 영향을 미치지 않으며 기존의 실험에서 이미 입증된 바 있다. 축소관과는 달리 상류측에 엘보우가 있는 경우, 밸브 완전 열림각, 엘보우 설치 조건, 역지 밸브로부터의 설치 거리 등에 따라 역지 밸브의 열림 특성이 달라진다. 수평 배관에 설치되어 있는 역지 밸브의 상류측에 있는 엘보우는 엘보우내 유동 방향이 위에서 아래쪽으로 형성되거나 아래에서 위쪽으로 형성되도록 설치되어 있는 두 가지

경우가 있는데, 두 경우 모두 역시 밸브로부터의 설치 거리에 따라 열림 특성에 영향을 미친다. 엘보우가 수평방향으로 설치되어 있는 경우에는 축소관과 유사하게 밸브의 열림 특성이 큰 영향을 미치지 않는 것으로 알려져 있다. 엘보우내 유동 방향이 위에서 아래쪽으로 형성되어 있는 경우가 디스크 변동각이 더 크며 디스크 Tapping이 시작되는 유속이 낮아 Tapping 영역이 더 넓다. 디스크 완전 열림각이 큰 Clearway형 역시 밸브는 엘보우가 바로 인접해서 설치되어 있는 경우 안정적인 밸브 열림이 보장되지 않을 수 있다. 즉 유속을 아무리 증가시켜도 디스크 Tapping이 거의 없는 안정적 백시팅은 일어나지 않는다. 이러한 현상은 밸브 크기가 작을수록 더 민감하다. 이러한 연구결과를 바탕으로 EPRI⁽³⁾에서는 스윙형 및 탈팅형 역시 밸브의 설치위치를 엘보우로부터 거리가 최소 5D 이상으로 할 것을 권고하고 있다. 그러나 이 경우에도 엘보우로부터 충분한 거리에 설치된 경우보다 마모는 더 빨리 진행될 것이다.

한편, 스윙형 역시 밸브와는 달리 Duo형의 역시 밸브인 경우에는 엘보우로부터 8D 이상의 거리에 설치되어야 디스크의 변동에 의한 마모를 예방할 수 있다. 리프트형과 노즐형의 역시 밸브는 다른 유형의 역시 밸브보다 백시팅힘이 더 크기 때문에 상류측 엘보우에 의한 영향이 거의 없는 것으로 알려져 있다.

상류측 교란 요소 영향 평가

상류측 교란요소는 역시 밸브의 열림 특성에 영향을 미치기 때문에 역시 밸브의 선정이나 설치시 교란요소의 영향을 고려하지 않게 되면, 동일한 운전조건에서 상류측 교란요소가 없을 때의 안정적 상태가 Tapping이나 Oscillation이 발생하는 상태가 될 수 있다. 그러나 상류측 교란요소의 영향을 해석적으로 예측할 수 있는 모델은 아직 제시되어 있지 않으며 대부분 실험을 통하여 상류측 교란요소들의 영향을 무시할 수 있는 설치조건을 제시하거나 교란요소의 유형, 밸브 크기 및 유형, 역시 밸브로부터 교란요소가 설치된 지점까지의 거리에 대한 영향을 정성적으로 평가함이 일반적이다⁽⁶⁾. Table 2에는 EPRI⁽³⁾에서 제시한 C_{UP} 값들을 나타내었는데, C_{UP} 은 상류측 교란요소 영향의 정도를 나타내는 값이다. Table 2에 제시된 C_{UP} 값을 이용하면 상류측 교란요소가 있는 설치조건에서의 V_{open}^* 을 다음과 같이 예측할 수 있다.

$$V_{open}^* = C_{UP} V_{open} \quad (1)$$

여기서 C_{UP} 값들은 스윙형 역시 밸브를 이용한 실험으로 얻어진 것이다.

(1)식과 Table 2로부터, EPRI에서 제시한 C_{UP} 은 교란요소의 유형과 역시 밸브로부터의 거리에 따라 다른 값을 보여주지만 디스크 완전 열림각에 따른 영향을 직접적으로 고려

하고 있지 않음을 알 수 있다. 디스크 완전 열림각이 작은 밸브의 열림 특성이 안정적이기 때문에 완전 열림각이 큰 밸브에 비해 상류측 교란요소의 영향도 덜 받는다. 따라서 상류측 교란요소의 영향을 평가할 때 디스크 완전 열림각의 영향도 고려함이 바람직하다. 여기서는 상류측 교란요소로 인하여 밸브 디스크의 변동각과 변동주파수가 증가하기 때문에 밸브를 열기 위한 추가적인 모멘트가 필요하고 디스크의 운동에너지에 해당하는 만큼 유속을 증가시켜야 밸브 열림이 진행될 수 있다고 가정하였다. 따라서 상류측 교란 요소에 의한 역지 밸브의 열림 특성을 Kim et.al.의 V_{min} 모델(Table 1 참조)로부터 다음과 같이 유추하였다.

$$V^* = \sqrt{\frac{M_{WT}/\rho}{K_{VEL} + K_{\Delta P} - K_{UP}}} \quad (2)$$

여기서, $K_{UP} = C_{UP}^* \cdot W_{DISK} \cdot (L/D_i)^2$ 이고 C_{UP}^* 은 완전열림각, 개도각에 따른 디스크 변동각, 역지 밸브로부터 상류측 교란요소까지의 거리 및 상류측 교란 요소 유형에 따라 달라진다. Fig. 5는 Fig.3에 나타냈던 24인치 스윙형 역지 밸브의 열림특성이 상류측 교란요소를 고려할 경우 어떻게 변화하는지를 보여주고 있다. 여기서의 C_{UP}^* 은 디스크 변동각의 함수로만 가정하여 Table 1의 C_{SEAT} 관계식을 그대로 이용하였다. 중간 개도각에서 10deg.의 최대 디스크 변동각이 발생한다고 가정하고, 닫힘 상태에서 중간 개도각까지는 선형적으로 디스크 변동각이 증가하고 중간 개도각 이상에서는 다시 6.8deg.까지 선형적으로 감소한다고 가정하였다. Fig.5를 보면 상류측 교란요소를 고려할 경우 Tapping 영역이 더 넓어져서 안정적인 밸브 운전영역이 감소함을 알 수 있으며 균일유속분포를 가정하였을 경우보다 V_{open} 과 V_{min} 또한 증가함을 알 수 있다. 상류측 교란요소를 고려할 경우의 V_{min} 은 (2)식과 Table 1의 K_{SEAT} 을 이용하여 구할 수 있다.

4. 결론

스윙형 역지 밸브의 성능을 나타내는 여러 가지 요소중 계통의 운전조건과 밸브자체의 안정적인 완전열림을 보장하는 최소요구유속을 평가하고 이로부터 역지 밸브의 운전영역(Stable, Tapping, Oscillation)을 결정하는 방법을 제시하였다. 이렇게 결정된 운전특성과 운전영역으로부터 힌지핀과 부싱에 대한 마모해석 및 디스크 스티드에 대한 피로분석의 필요성을 결정하고 그 분석방법을 간략히 기술하였다. 또한 상류측 교란요소의 영향을 고려한 밸브 열림특성을 평가할 수 있는 방법을 제시하였는데 그 적용 타당성은 실험을 통하여 입증되어야 할 것이다. 결론적으로, 균일한 유속분포를 가정했을 때, 역지 밸브는 V_{min} 이상의 유속에서 항상 운전되도록 함이 바람직하지만 V_{min} 이하의 유속에서도 심각

한 마모 발생 없이 오랜 기간 운전할 수 있음이 밝혀져 있기 때문에, 계통 운전 유속과 V_{min} 을 비교한 결과만으로 역지 밸브의 문제 발생 가능성을 판단하기 보다는 상류측 교란 요소의 영향, 유량, 압력 및 온도와 같은 실제 운전 상태 그리고 유지 보수 이력 등으로부터 종합적으로 판단하여야 한다.

감사의 글

본 논문은 과학기술부의 원자력 중장기사업 “원전 역지 밸브 고장원인 분석 및 성능진단 관리기법 개발”과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Crane Co., Flow of Fluids through Valves, Fittings, and Pipe, Crane Technical Paper No.410, 1985.
2. Chong Chiu & M.S. Kalsi, "Plant Availability Improvement by Eliminating Disc Vibrations in Swing Check Valves," ASME Paper 86-JPGC-NE-6, 1986.
3. EPRI, Application Guidelines for Check Valves in Nuclear Power Plants, EPRI NP-5479, Rev. 1, EPRI, 1993.
4. W.J. Rahmeyer, "Sizing Swing Check Valves for Stability and Minimum Velocity Limits," Transactions of ASME, Vol.115, pp.406-410, Nov. 1993.
5. Y.S. Kim, D.H. Lee, S.C. Kang, & S.Y. Hong, "Minimum Flow Velocity Model for Swing Check Valves," Proceedings of the Korean Nuclear Spring Meeting, Gyeongju, Korea, 2003 (In Korean).
6. W.J. Rahmeyer, "The Effect of Upstream Piping on Swing-Check Valves," Management and Operation, Journal AWWA, pp.553-555, 1983.

기호설명

B	부력계수
C_D, C_{SEAT}	압력강하 및 시트계수
C_{UP}, C_{UP}^*	상류측 교란요소 영향의 정도를 나타내는 인자
D_d, D_i	디스크 직경 및 배관의 입구 내경

g	중력가속도
K_{SEAT}	백시팅 힘에 의한 모멘트 인자
K_{UP}	상류측 교란요소 영향을 나타내는 모멘트 인자
K_{VEL}	유동 및 관성 모멘트 인자
$K_{\Delta P}$	디스크 전·후단 차압에 의한 모멘트 인자
L	힌지핀 중심에서 디스크 중심까지의 거리
M_{WT}	디스크 및 밸브 암의 무게에 의한 모멘트
V_{min}	안정적 밸브 완전열림에 필요한 최소유속
V_{open}, V_{open}^*	밸브 완전열림에 필요한 최소유속
W_{ARM}, W_{DISK}	힌지 암 및 디스크의 무게
β	배관의 기울기
$\Delta\theta$	디스크 변동각
θ	배관축에 수직인 면으로부터의 디스크 각
ρ	유체의 밀도

Table 1 Minimum Required Velocity Models for Swing Check Valves

	Model	Remarks
Crane Co. ⁽¹⁾	$V_{open} = C_1 \sqrt{\frac{1}{\rho}}$	$V_{min} = V_{open}$
Chiu & Kalsi ⁽²⁾	$V_{open} = \left(\frac{g B W_{eff} \sin\theta'}{K \rho A_d \cos^2\theta'} \right)^{1/2}$	$V_{min} \cong 1.1 V_{open} ; K = 2.0$
Rahmeyer ⁽⁴⁾	$V = \sqrt{\frac{K_{WT}/\rho}{K_{VEL} + K_{\Delta P}}}$ where $K_{WT} = W_{eff} L B \sin(\theta + \beta) ; K_{VEL} = A_* \cos \theta (h + 0.5 z)$ $h = \frac{(L - D_i / 2)}{\cos \theta} ; z = (L + D_d / 2) - h$ $A_* = \sqrt{(2 D_d z^3 \cos^3\theta) - (z^4 \cos^4\theta)}$ $K_{\Delta P} = \frac{\pi}{4} D_d^2 L (K_B \theta)^{-3}$	$K_B = \begin{cases} 0.025 & \text{for } V = V_{open} \\ 0.035 & \text{for } V = V_{min} \end{cases}$
Kim et.al. ⁽⁵⁾	$V = \sqrt{\frac{M_{WT}/\rho}{K_{VEL} + K_{\Delta P} - K_{SEAT}}}$ where $M_{WT} = B \cdot W_{eff} \cdot \sin(\theta + \beta) \cdot L$ $K_{VEL} = A_{eff} \cdot \cos \theta \cdot (h + 0.5 z) ; K_{\Delta P} = \frac{\pi}{8} D_d^2 L C_D$ $h = \frac{(L - D_i / 2)}{\cos \theta} ; z = (L + D_d / 2) - h ;$ $A_{eff} = \frac{\pi}{4} \sqrt{2 D_d z^3 \cos^3\theta - z^4 \cos^4\theta}$ $K_{SEAT} = C_{SEAT} \cdot W_{DISK} \cdot (L/D)^2$	$C_{SEAT} = \begin{cases} 0 & \text{for } V = V_{open} \\ \frac{0.065 (\Delta\theta)^2}{\rho g} & \text{for } V = V_{min} \end{cases}$

Table 2 C_{up} Values for Various Upstream Disturbances for Swing Check Valves⁽³⁾

Distance from Check Valve \ Upstream Disturbance	0D	1D	2D	3D	4D	5D	10D
Elbow Up	1.4	1.3	1.2	1.15	1.1	1.05	1
Elbow Horizontal	1.1	1.08	1.06	1.04	1.03	1.02	1
Elbow Down	1.15	1.12	1.1	1.08	1.06	1.04	1
Reducer	1.1	1.08	1.06	1.04	1.03	1.02	1
Turbulence Source (Multi-hole Orifice Plate)							
High	1.4	1.3	1.2	1.15	1.1	1.05	1
Medium	1.2	1.16	1.12	1.08	1.06	1.04	1
Low	1.1	1.08	1.06	1.04	1.03	1.02	1

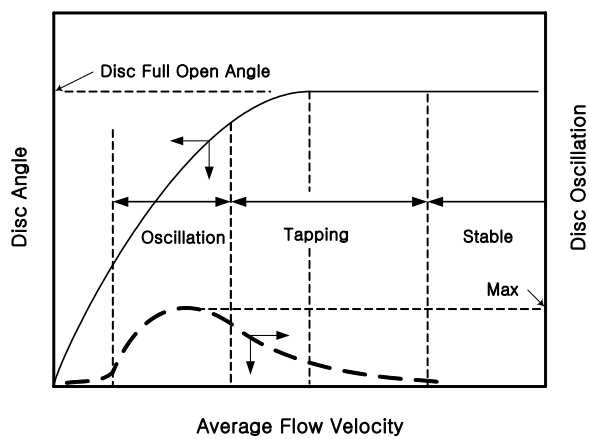


Fig.1 Disc Angle vs. Average Flow Velocity for a Swing Check Valve

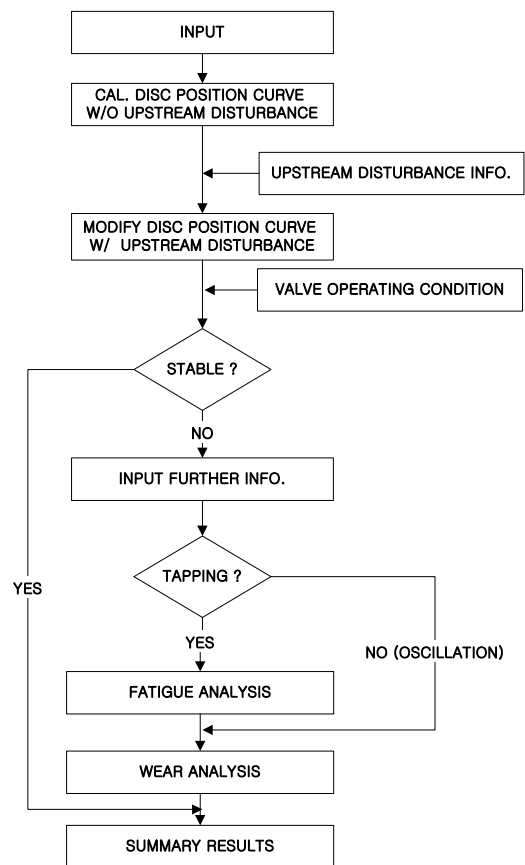


Fig.2 Schematic of Check Valve Performance Evaluation Procedure

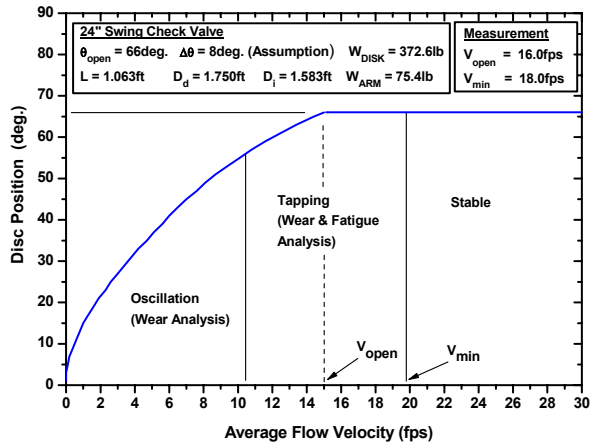


Fig.3 Disc Position vs. Average Flow Velocity for 24" Swing Check Valve

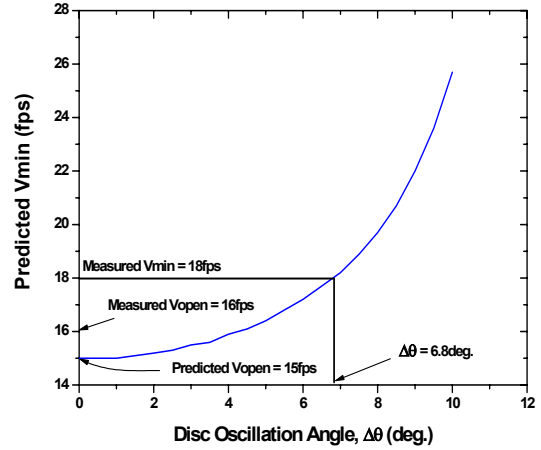


Fig.4 Effect of Disc Oscillation Angle on Minimum Required Flow Velocity for 24" Swing Check Valve

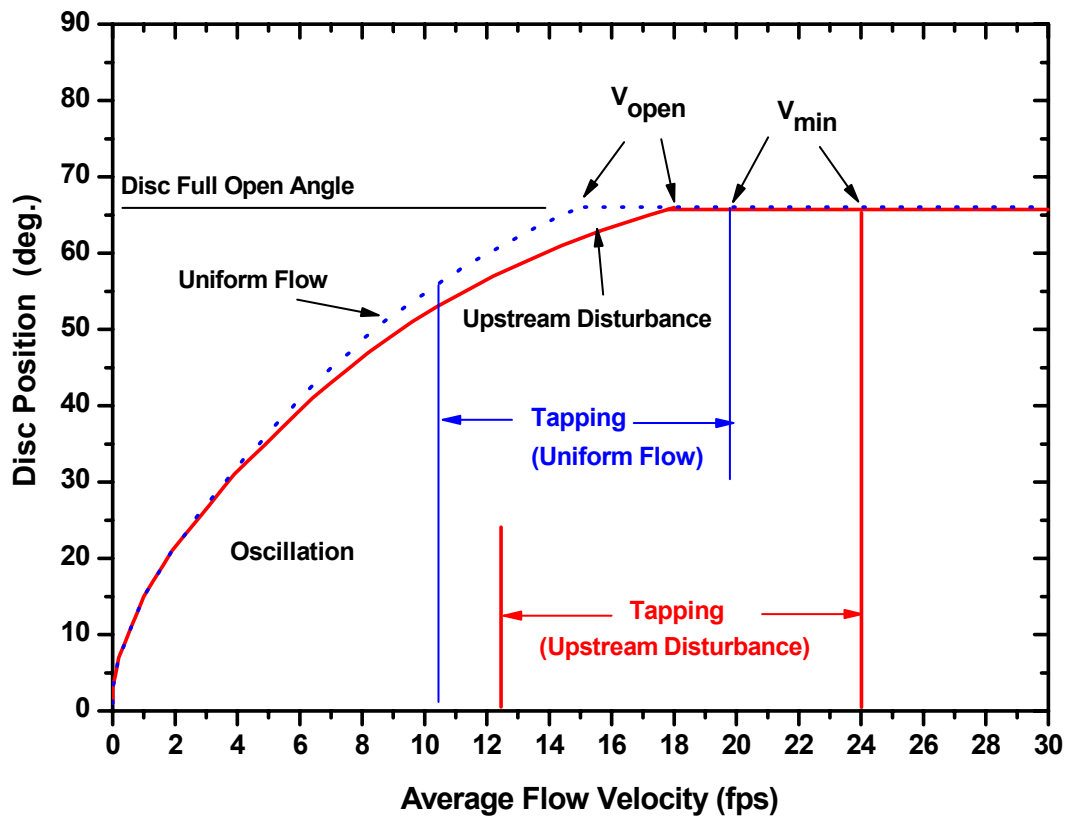


Fig.5 Effects of Upstream Disturbances on 24" Swing Check Valve Performance