

# 콘트롤 밸브의 소음 측정 방법

이용봉\* · 윤병로\* · 박경암\* · 이두희\* · 유선학\*\*

\* 한국표준과학연구원

\*\* 신한콘트롤밸브(주)

## Measurement method for control valve noise

Y. B. Lee\*, B. R. Yoon\*, K. A. Park\*, D. H. Lee\*, S. H. Yoo\*\*

\* Korea Research Institute of Standard and Science

\*\* SHIN HAN CONTROL VALVE, Co. Ltd.

### 요 약

콘트롤밸브는 지역 냉·난방 및 APT, 대형 빌딩의 냉온수, 증온수 및 공조배관 시스템에 사용되어 유체적 배관스를 이루는데 사용된다. 이와같이 유체의 흐름을 조절하기 위하여 사용되는 콘트롤 밸브가 때로는 소음 문제를 일으키기도 한다. 최근 들어 밸브의 소음이 문제가 되는 경우가 빈번해 지고 있다.

밸브의 기본적 기능을 충족시키기 위해서는 영구적인 수두손실이 필요하며 이러한 수두손실을 발생시키는 과정에서 유체 흐름에 의해 발생한 난류가 커다란 밸브 소음을 유발하게 된다.

본 연구에서는 콘트롤 밸브 소음 특성 평가 방법을 검토하였다. 밸브 및 배관으로 이루어진 시스템에서 발생하는 소음을 예측하는 절차를 살펴보았다. 밸브의 음향파워레벨을 측정하고 유량 및 차압의 변화에 따른 소음 예측식을 결정하였다.

본 연구에서 제시한 밸브 소음 측정 방법은 새로운 밸브의 소음특성 평가, 밸브 소음의 예측 그리고 서로 다른 밸브 사이의 성능비교 등에 사용될 수 있을 것이다.

### 1. 서 론

콘트롤밸브에서 발생하는 소음은 밸브를 지나면서 발생하는 커다란 압력손실에 기인한다. 이러한 소음은 생활환경의 소음공해 요인이 된다. 밸브 구입자들은 밸브 제조회사에 대하여 발생 소음이 규정치 이하를 만족시키고 있는지를 나타내는 증빙자료를 요구하고 있는 실

정이다. 시제품 콘트롤 밸브의 소음평가는 콘트롤밸브의 개발과 판매에 있어 매우 중요한 자료이다. 이러한 목적에서 밸브의 소음 측정 및 밸브의 소음예측기법에 대해서도 검토하였다.

### 2. 밸브 소음 측정

#### 2.1 밸브 소음 측정 시스템 구성

그림 1은 콘트롤 밸브 음향파워를 측정하기 위한 전

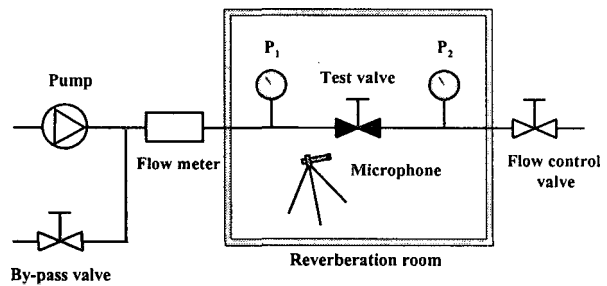


Fig. 1 valve noise measurement system

체 구성도이며 펌프, 각종 밸브, 압력계, 유량계, 마이크로폰, 잔향실 등으로 구성되어 있다.

#### 2.2 소음 측정 및 분석

밸브의 소음 측정 및 분석에 사용된 밸브는 그림 8-3-6과 같다. 이 밸브의 특징은 밸브 개폐를 임의로 조절할 수 있어 시험 조건을 재현하기가 쉽다는 것이다. 밸브 소음 평가에는 유량계수가 중요한 인자로 사용된

다.

음향파워레벨은 몇가지 방법으로 측정할 수 있으나 여기에서는 잔향실내에서 미지의 음원으로부터 발생된 음압레벨을 측정하고 잔향실 체적, 잔향시간 등을 고려하여 미지의 음원에 대한 음향파워레벨을 계산하는 방법을 적용하였다. 대역별 음향파워레벨 계산식은 다음과 같다.

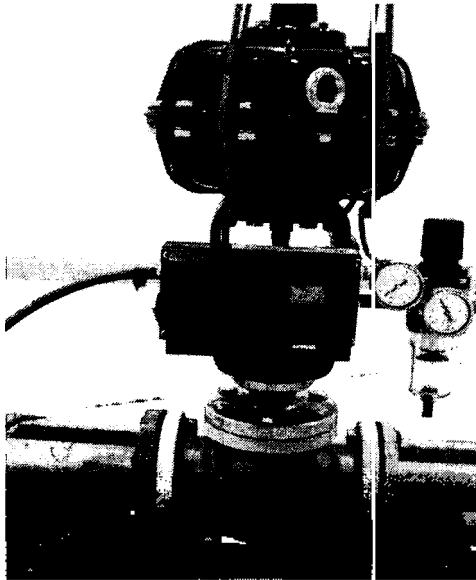


Fig. 2 Test valve

$$L_w = L_p - 10 \log_{10} \frac{T}{T_0} + 10 \log_{10} \frac{V}{V_0} + 10 \log_{10} \left( 1 + \frac{S\lambda}{8V} \right) - 10 \log_{10} \left( \frac{B}{1000} \right) - 14 \text{ dB}$$

여기서

$L_w(\text{dB})$  : 시험중인 음원의 밴드음향파워레벨,

단위는 dB, 기준값은 1 pW

$L_p$  : 밴드 평균 음압레벨,

단위는 dB, 기준값은 20  $\mu\text{Pa}$

$T$  : 잔향시간, s

$T_0$  : 1 s

$V$  : 잔향실 체적,  $\text{m}^3$

$V_0$  : 1  $\text{m}^3$

$\lambda$  : 밴드의 중심주파수에 해당하는 파장, m

$S$  : 잔향실의 총 표면적, 단위는  $\text{m}^2$

$B$  : 대기압, 단위는 mbar

그림 3은 상대유량계수 0.11, 차압비 0.58 인 경우의 소음 측정 결과를 1/3 옥타브 밴드레벨로 분석한 것이다. 차압비를 바꾸어 가면서 동일한 방법으로 소음을 측정하게 된다. 그림 4는 이와 같이 분석한 결과를 차압비에 따라 그린 것이다.

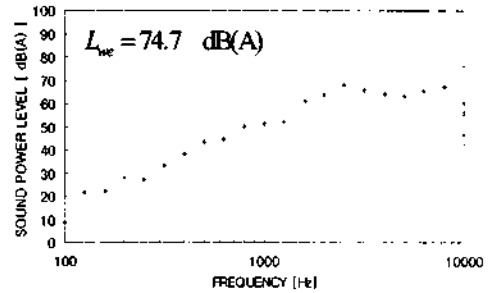


Fig. 3 Octave band sound power level  
(  $\phi = 0.11, X_F = 0.58$  )

### 3. 밸브 소음 예측

IEC 60534, ISO 3741에 근거하여 차압, 유량 및 차압비로부터 콘트롤 밸브의 소음을 예측하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법을 유량 콘트롤 밸브에 대하여 적용하여 보았다. 유량계수의 값을 바꾸어 가면서 적용하여 보았다. 이 방법은 유량계수가 일정하게 유지되는 환경에 우선적으로 적용된다.

#### 3.1 밸브 소음 예측 기법

밸브에서 외부로 방사되는 음향파워레벨을 예측하기 위한 식을 결정하는 이론을 요약하여 설명하면 다음과 같다. 먼저 내부음향파워레벨을 계산한다. 두가지 경우로 나누어 서로 다른 식을 적용하게 된다. 즉, 캐비테이션이 발생하지 않는 흐름의 경우에는 다음 식으로 계산한다.

$$L_{wi} = 120 + 10 \log \eta_F + 10 \log \dot{m} + 10 \log \Delta p - 10 \log \rho_F$$

여기에서 기호의 의미는 다음과 같다.

$L_{wi}$  : 내부 음향파워레벨

$\eta_F$  : 방사효율

$\dot{m}$  : 질량유량

$\rho_F$  : 유체밀도

캐비테이션 흐름( Cavitating flow )의 경우에는 다음 식을 사용하여 내부음향파위레벨을 결정한다.

$$L_{wi} = 120 + 10 \log \eta_F + 10 \log \dot{m} + 10 \log \Delta p - 10 \log \rho_F + \Delta L_F + 180 \cdot \frac{(X_{Fz,\phi})^{0.0625}}{(X_F)^{X_{F,\phi}}} \cdot (1 - X_F)^{0.8} \cdot \log \left[ \frac{1 - X_{Fz,\phi}}{1 - X_F} \right]$$

기호의 의미는 다음과 같다.

$\Delta L_F$  : 보정값

$X_F = \Delta p / (p_1 - p_v)$  : 차압비

이상으로부터 1/3 옥타브 대역별 내부음향파위레벨은 다음과 같이 계산한다.

$$L_{wi}(f) = L_{wi} - 10 \log \frac{f_m}{400} - 6.74$$

여기에서  $f_m$  : 1/3 옥타브 대역 중심 주파수

투과 손실은 다음과 같이 계산한다.

$$TL(f) = 10 + 10 \log \frac{c_p \cdot \rho_p \cdot l}{c_F \cdot \rho_F \cdot d_o} + 10 \log \left[ \frac{f_r}{f} + \left( \frac{f}{f_r} \right)^{1.5} \right]^2$$

여기에서 기호의 의미는 다음과 같다.

$c_p, c_F$  : 배관 및 유체내 음파 속도

$\rho_p$  : 배관의 밀도

$l_p$  : 배관 길이

$d_o$  : 관의 외경

$f_r = \frac{c_p}{\pi \cdot d_o}$  : 링 주파수

1/3 옥타브밴드 외부음향파위레벨은 다음과 같이 계산한다.

$$L_{we}(f) = L_{wi}(f) - 17.37 \frac{l_p}{2 \cdot d_o} \cdot 10^{-0.1 \cdot TL(f)} - TL(f) + 10 \log \frac{4 \cdot l_p}{d_o}$$

A-보정 외부음향파위레벨은 다음과 같이 계산한다.

$$L_{weA} = 10 \log \left[ \sum_{n=1}^{15} 10^{0.1 \cdot L_{wi}(f_n)} \right]$$

이상의 식에서 방사효율과 보정계수를 실험적으로 결정하여야 하는 미지수이다. 이를 위해서 가.에서 측정된 음향파위레벨 결과를 이용한다. 차압비를 바꾸어 가면서 그림 3과 같이 음향파위레벨을 구하고 차압비에 따른 A-보정 음향파위레벨을 그려 보면 그림 4와 같다. 그림에서 차압비가 특정한 값에 가까워지면 방사소음이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 여기가 캐비테이션이 발생하기 시작하는 부분이다. 이러한 차압비를 전후하여 소음예측식이 달라지게 된다. 밸브의 소음 예측식을 결정하는 순서를 정리하면 다음과 같다.

- 밸브 설치
- 상대유량계수( $\phi$ ) 결정
- 차압비에 대한 음향파위레벨 측정
- 특성압력비 결정
- 비캐비테이션 흐름의 시험결과로부터 음향(방사)효율 결정
- 비캐비테이션 흐름에 대한 음향파위레벨 예측식 결정
- 캐비테이션 흐름에 적용되는 보정레벨 결정
- 캐비테이션 흐름에 대한 음향파위레벨 예측식 결정

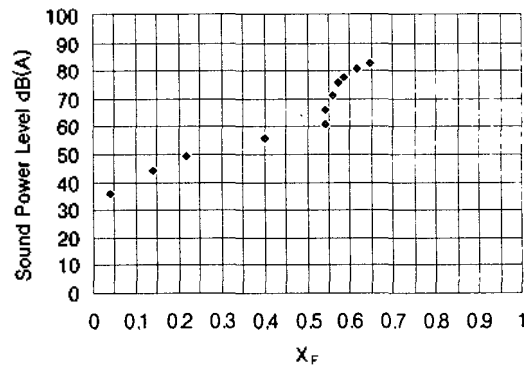


Fig. 4 Sound power level to differential pressure

### 3.2 밸브 소음 예측 결과

상기 방법으로 평가한 결과는 다음과 같다. 먼저 비캐비테이션 흐름 영역에 대한 A-보정 음향파위레벨 예측식 ( $\phi = 0.11$ )은

$$L_{weA} = 10 \log \dot{m} + 10 \log \Delta p - 0.42 \text{ dB(A)}$$

와 같이 된다.

캐비테이션 흐름 영역에 대한 A-보정 음향파워레벨 예측식 ( $\phi = 0.11$ )은

$$L_{wA} = 10 \log \dot{m} + 10 \log \Delta p + 12.9 + \frac{173}{(X_F)^{0.54}} \cdot (1 - X_F)^{0.8} \cdot \log \left[ \frac{0.46}{1 - X_F} \right] \text{ dB(A)}$$

와 같다. 소음 예측식은 유량, 차압 이외에도 유체밀도, 유체내 음속, 배관길이, 배관직경, 배관구게, 배관재료의 밀도 등이 달라져도 적용할 수 있다.

그림 5 및 그림 6은 위의 예측식을 그림으로 나타낸 것이다. 그림 5는 유량에 따른 소음 예측 결과를 시험 결과와 비교하여 보여준다. 대부분의 영역에서 두가지 결과는 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 그림 6은 차압에 따른 소음레벨의 변화를 보여준다. 역시 시험 결과와 예측결과가 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 예측 이론이 잘 적용되는 경우라 하겠다.

이외에도 유량계수를 바꾸어서 소음 예측을 시도하였다. 그 결과 밸브의 소음예측이 항상 그림 5, 그림 6과 같이 잘 되는 것은 아님을 확인하였다. 유량계수가 작은 경우에는 차압비에 따른 소음레벨의 변화가 예상되는 형상과 다르게 나타난다. 예를 들면 캐비테이션 발생 지점을 파악하기 쉽지 않기 때문이다. 또한 유량계수가 매우 큰 경우에도 시험 차압비 영역에서 캐비테이션이 발생되지 않는 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

콘트롤 밸브 소음 특성 평가 방법을 개발하였다. 간헐실을 이용하여 콘트롤 밸브의 음향파워레벨을 측정하고, IEC의 밸브소음예측기법과 결합하여 콘트롤밸브에서 발생하는 소음을 예측하는 방법을 제안하였다. 이 방법 역시 유체의 밀도, 배관의 재질 및 형상 등이 바뀌어도 그대로 적용할 수 있다. 제안된 방법에 따라 실제 사용되는 콘트롤밸브에 대하여 소음을 측정하고 소음예측식을 결정하였다. 제안된 방법에 따라 소음 평가가 가능한 영역에 대해서는 콘트롤밸브의 소음 예측식을 만들어 데이터 베이스화 할 수 있을 것이다. 기존의 소음 예측기법과 여기서 제안된 방법 사이의 상호 비교가 필요하다. 이러한 결과들은 밸브 특성을 시험하고 평가하는데 도움을 주리라고 판단된다.

밸브의 소음을 측정 예측하기 위해서는 현장에 적합한 전용 소음 측정 환경을 구축할 필요가 있다. 상대 유량계수가 매우 작은 경우 소음 예측 기법의 개발이 필요하다. 또는 정유량 밸브 등과 같이 차압을 변화시킬 때 유량계수가 일정하게 유지되지 않는 밸브에 대한 소음 예측 기법도 개발할 필요가 있다.

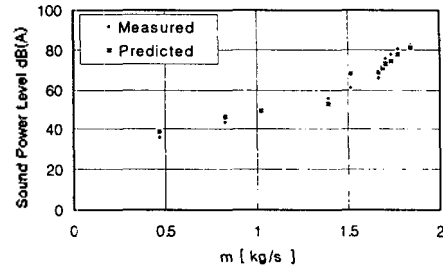


Fig. 5 Noise emission as a function of flow rate ( $\phi=0.11$ )

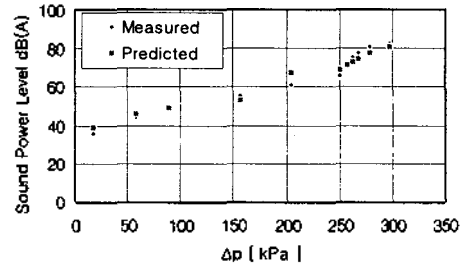


Fig. 6 Noise emission as a function of pressure ( $\phi=0.11$ )

#### 5. 참고문헌

- 1) IEC 534-8-2 : 1993, Industrial process control valves - Part 8 : Noise considerations - Section 2 : Laboratory measurement of noise generated by hydrodynamic flow through control valves.
- 2) IEC 534-8-4 : 1994, Industrial process control valves - Part 8 : Noise considerations - Section Four : Prediction of noise generated by hydrodynamic flow.
- 3) ISO 3741 : 1988(E), Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources - Precision methods for broad-band sources in reverberation rooms