

잔향실을 이용한 콘트롤 밸브 소음 예측 방법

Prediction Method of Control Valve Noise

이 용 봉*, 윤 병 로*, 박 경 입*, 이 두 희*, 유 선 학**
 (Yong-Bong Lee*, Byung-Ro Yoon*, Kyung-Am Park*, Doo-Hee Lee*, Seun-Hak Yoo**)

*한국표준과학연구원, **신한콘트롤밸브(주)
 (접수일자: 2002년 9월 4일; 채택일자: 2002년 10월 28일)

새로운 콘트롤 밸브 소음 예측 방법을 제안하고 밸브 및 배관으로 이루어진 시스템에 적용하여 그 가능성을 확인하였다. 기존의 소음 예측 방법은 무향실을 이용하는 기존의 예측방법보다 일반 산업체에서 시험 시설을 설치하기가 용이한 장점이 있다. 측정된 음향파위를 이용하여 소음예측식을 결정하고 상대유량계수 0.11인 경우 소음예측식에 따라 유량 및 차압의 변화에 따른 음향파위레벨을 평가하였고 그 결과가 측정값과 잘 일치함을 확인하였다. 제안된 밸브소음 예측기법은 콘트롤밸브의 소음특성을 나타내는 지표로서 사용할 수 있다.

핵심용어: 콘트롤밸브, 음향파위, 소음예측, 캐비테이션

투고분야: 소음 및 공력음향 분야 (10.2)

This paper proposes new method for predicting sound power emitted from the control valve and piping system. The sound power level measurement method using the reverberation chamber is much easy to apply in the field compared to the method using the anechoic chamber. Measured sound power was used to determine the coefficients of the equation predicting sound power level. The noise prediction equation was developed at relative flow coefficient, 0.11. The sound power level predicted is in good agreement with the measured value. Proposed method can be used to express the noise characteristics of the control valves.

Keywords: Control valve, Sound power, Noise prediction, Cavitation

ASK subject classification: Noise and aeroacoustics (10.2)

I. 서론

콘트롤 밸브는 지역 냉·난방 및 APT, 대형 빌딩의 냉온수, 증온수 및 공조배관 시스템에 사용되어 유량제어에 사용된다. 이와같이 유량을 조절하기 위하여 사용되는 콘트롤 밸브가 때로는 소음 문제를 일으키기도 한다. 최근 들어 밸브의 소음이 문제가 되는 경우가 빈번해지고 있다.

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

밸브 구매자들은 밸브 제조회사에 대하여 발생 소음이 규정치 이하를 만족시키고 있는지를 나타내는 증빙자료

를 요구하고 있는 실정으로 시제품 콘트롤 밸브의 소음평가는 콘트롤밸브의 개발과 판매에 있어 중요한 자료이다.

밸브의 사용 조건은 일정하지 않으며 사용 중 유량이나 차압이 항상 변화할 수 있다. 밸브에서 발생하는 소음은 유량, 차압 등에 따라 변화한다. 그러나 현실적으로 모든 유량 차압 조건에 대하여 밸브의 소음을 측정할 수 없으므로 몇가지 조건에서 시험하고 그 결과로부터 나머지 조건에서 발생하는 소음을 평가할 수 있도록 하는 것이 바람직하다. 이를 위해서 밸브 소음 예측식을 제시하는 것이 필요하다.

IEC 534-8-2[1]에는 유체가 콘트롤 밸브를 통과하여 흐르는 과정에서 발생하는 소음을 측정하는 방법이 제시되어 있다. 무향실 환경에 밸브 및 배관을 설치하고 밸브로부터 배관을 따라 길이방향으로 1m, 다시 배관벽으로부터 직각 방향으로 1m 떨어진 지점에서 음압레벨을 측정하고 있다.

무향실에서 다수의 위치에서 음압을 측정하면 음향파

책임저자: 이용봉 (yb@kriss.re.kr)
 105-600 대전 유성구 도룡동 1번지
 한국표준과학연구원 음향진동그룹
 전화: 042-868-5305; 팩스: 042-868-5643)

위를 보다 정확히 계산할 수 있는 장점이 있으나 측정이 까다롭고 측정시간이 많이 소요되는 단점이 있다.

IEC 534-8-4[2]는 이와 같은 IEC 534-8-2의 방법에 따라 측정된 음향파워레벨 및 음압레벨을 사용하여 밸브에서 발생하는 소음 예측식을 구하는 방법을 제시하고 있다.

본 논문에서는 잔향실을 이용하여 콘트롤밸브에서 발생하는 소음을 예측하고자 하였다. 일반적으로 산업체에서는 무향실보다는 잔향실 환경을 구축하여 시험하는 것이 간편하고 비용도 적게 든다. 또한 잔향실 환경은 밸브가 어느 정도의 지향성을 가지고 있는 경우라 하더라도 쉽게 적용할 수 있다.

또한 제안된 방법에 따라 예로서 특정 밸브의 음향파워레벨을 측정하고 예측식을 구하였다.

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

II. 밸브 소음 예측 기법

2.1. 밸브 소음 측정 시스템

그림 1은 콘트롤 밸브 음향파워를 측정하기 위한 구성도이며 펌프, 각종 밸브, 압력계, 유량계, 마이크로폰, 잔향실 등으로 구성된다.

2.2. 음향파워레벨 결정

음향파워레벨은 몇가지 방법으로 측정할 수 있으나 여기에서는 잔향실내에서 미지의 음원으로부터 발생된 음압레벨을 측정하고 잔향실 체적, 잔향시간 등을 고려하여 미지의 음원에 대한 음향파워레벨을 계산하는 방법[3]을

적용하였다. 대역별 음향파워레벨 계산식은 다음과 같다.

$$L_{w_e}(f) = L_p - 10 \log \frac{T(f)}{T_0} + 10 \log \frac{V}{V_0} + 10 \log \left(1 + \frac{S \cdot \lambda(f)}{8V} \right) - 10 \log \frac{B}{1000} - 14 \quad (1)$$

식에서,

$L_{w_e}(f)$: 시험중인 음원의 밴드음향파워레벨, 기준값 1 pW

$L_p(f)$: 밴드 평균 음압레벨, 기준값 20 μPa

$T(f)$: 잔향시간, s

T_0 : 기준시간, 1 s

V : 잔향실 체적, m^3

V_0 : 기준체적, $1 m^3$

$\lambda(f)$: 밴드의 중심주파수에 해당하는 파장, m

S : 잔향실의 총 표면적, m^2

B : 대기압, mbar

2.3. 밸브 음향파워레벨 예측식 결정

밸브에서 외부로 방사되는 음향파워레벨 예측식을 구하기 위해서는 먼저 밸브 및 배관 내부의 흐름파워와 외부로 방사되는 음향파워레벨의 관계를 알아볼 필요가 있다[2].

흐름파워는 다음과 같다.

$$W_m = \frac{\dot{m} \cdot \Delta p}{\rho_F} \quad (2)$$

식에서,

W_m : 흐름파워

\dot{m} : 질량유량

Δp : 차압

ρ_F : 유체밀도

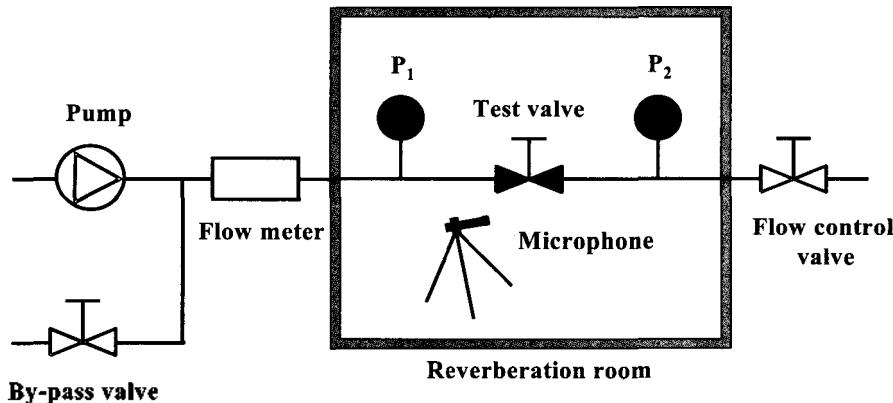


그림 1. 밸브소음측정시스템
Fig. 1. Valve noise measurement system.

음향파워레벨 예측식은 캐비테이션이 발생하지 않는 경우와 캐비테이션이 발생하는 경우에 따라 형태가 달라진다. 캐비테이션이 발생하는 경우 내부음향파워레벨은 다음과 같이 계산한다.

$$L_w = 10 \log \frac{\eta_F \cdot \dot{m} \cdot \Delta p}{\rho_F \cdot W_0} = 120 + 10 \log \eta_F + 10 \log \dot{m} + 10 \log \Delta p - 10 \log \rho_F \quad (3)$$

스에서,

L_w : 내부 음향파워레벨

η_F : 방사효율

$W_0 = 10^{-12} W$

캐비테이션 흐름 (Cavitating flow)의 경우 내부음향파워레벨 예측식은 다음과 같다.

$$L_w = 120 + 10 \log \eta_F + 10 \log \dot{m} + 10 \log \Delta p - 10 \log \rho_F + \Delta L_F + 180 \cdot \frac{X_{F,c}^{0.0625}}{X_F^{X_{F,c}}} \cdot [1 - X_F]^{0.8} \cdot \log \left[\frac{1 - X_{F,c}}{1 - X_F} \right] \quad (4)$$

식 (4)의 뒷부분이 캐비테이션의 영향을 나타낸다.

스에서,

ΔL_F : 보정레벨, 측정값과 계산값의 차

X_F : 캐비테이션의 발생할 때의 차압비

$X_{F,c}$: 차압비 $\Delta p / (p_1 - p_0)$

q : 상대유량계수

배관 벽을 통하여 외부로 전달되는 투과 손실의 계산식은 다음과 같다.

$$TL(f) = 10 + 10 \log \frac{c_p \cdot \rho_p \cdot t}{c_F \cdot \rho_F \cdot d_o} + 10 \log \left[\frac{f_r}{f} + \left(\frac{f}{f_r} \right)^{1.5} \right]^2 \quad (5)$$

식에서,

c_p : 배관내의 음파 속도

c_F : 유체내의 음파 속도

ρ_p : 배관 밀도

t : 배관 두께

d_o : 배관 외경

f_r : 링 주파수 $\frac{c_p}{\pi d_o}$

1/3 옥타브밴드 외부음향파워레벨은 다음과 같이 계산한다.

$$L_{we}(f) = L_w(f) - 17.32 \frac{l_p}{2d_0} 10^{-0.17L(f)} - TL(f) + 10 \log \frac{4l_p}{d_0} \quad (6)$$

여기서 l_p 는 배관의 길이를 나타낸다.

A-보정 외부음향파워레벨은 다음과 같이 계산한다.

$$L_{weA} = 10 \log \left[\sum_{n=1}^{15} 10^{0.1 \cdot L_{weA}} \right] \quad (7)$$

이상의 식에서 방사효율과 보정레벨은 실험적으로 결정하여야 하는 미지수이다. 이를 위해서 II에서 측정된 음향파워레벨을 이용한다.

이상 밸브의 음향파워 예측식 결정 순서를 정리하면 다음과 같다.

- 잔향실에 밸브 및 배관 설치
- 상대유량계수 (q) 결정
- 차압비에 대한 음향파워레벨 측정
- 특성압력비 결정
- 캐비테이션이 존재하지 않는 경우의 시험결과를 사용하여 방사효율 결정
- 캐비테이션이 존재하지 않는 경우의 음향파워레벨 예측식 결정
- 캐비테이션이 존재하는 경우의 시험결과를 사용하여 보정레벨 결정
- 캐비테이션이 존재하는 경우의 음향파워레벨 예측식 결정

III. 밸브 소음 예측 결과

3.1. 음향파워레벨

밸브의 소음 측정 및 분석에 사용된 밸브는 그림 2와 같다. 이 밸브의 특징은 밸브 개폐를 임의로 조절할 수 있어 시험 조건을 재현하기가 쉽다는 것이다. 밸브 소음 평가에는 상대유량계수가 중요한 인자로 사용된다.

그림 3은 상대유량계수 0.11, 차압비 0.58인 경우 1/3 옥타브 밴드로 측정된 음향파워레벨이다.

차압비를 바꾸어 가면서 동일한 방법으로 음향파워레벨을 측정하고 차압비에 따른 전대역 A-보정 음향파워레벨을 그리면 그림 4와 같다. 그림으로부터 특정한 차압비에서 음향방사파워가 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다.

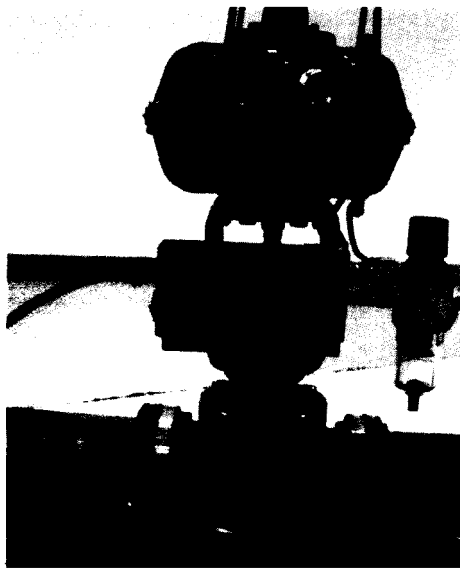


그림 2. 시험 밸브
Fig. 2. Test valve.

이 지점이 캐비테이션이 발생하기 시작하는 부분이다. 이러한 차압비를 전후하여 소음예측식이 달라지게 된다.

3.2. 밸브 소음 예측식

II절에서 제시한 방법에 따라 상대유량계수가 0.11일

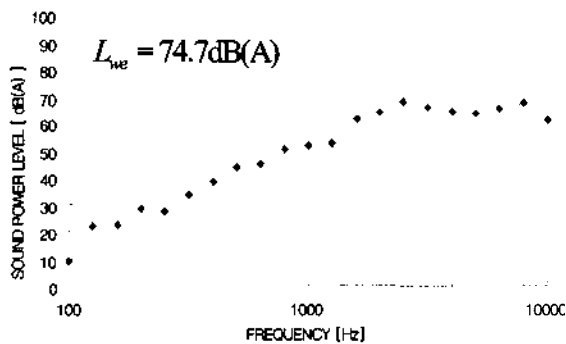


그림 3. 1/3 옥타브밴드 음향파워레벨
Fig. 3. 1/3 octave band sound power level ($\phi=0.11, X_F=0.58$).

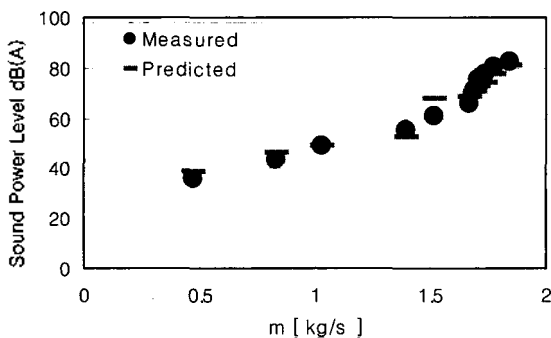


그림 5. 유량에 따른 음향파워레벨의 변화
Fig. 5. Sound power level to flow rate.

때 밸브에서 발생하는 음향파워레벨 예측식을 구성하여 보았다. 비캐비테이션 흐름 영역에 대한 A-보정 음향파워레벨 예측식은 다음과 같다.

$$L_{weA} = 10 \log \dot{m} + 10 \log \Delta p - 0.42 \text{ dB(A)} \quad (8)$$

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

$$L_{weA} = 10 \log \dot{m} + 10 \log \Delta p + 12.9 + \frac{173}{(X_F)^{0.54}} \cdot (1 - X_F)^{0.8} \cdot \log \left[\frac{0.46}{1 - X_F} \right] \text{ dB(A)} \quad (9)$$

이 경우 소음 예측식은 유량, 차압, 차압비의 함수로 구성된다.

그림 5 및 그림 6은 예측값을 측정값과 비교하여 나타낸 것이다. 그림 5는 유량에 따른 음향파워레벨 예측 결과이고 그림 6은 차압에 따른 음향파워레벨의 변화를 보여준다. 측정값과 예측값은 최대 7.1 dB(A) 이내에서 서로 일치하고 있다.

상기 소음예측식에는 유량과 차압, 차압비를 제외한 인자들에 실제 측정값을 대입하였다. 그러나 II절에서 설

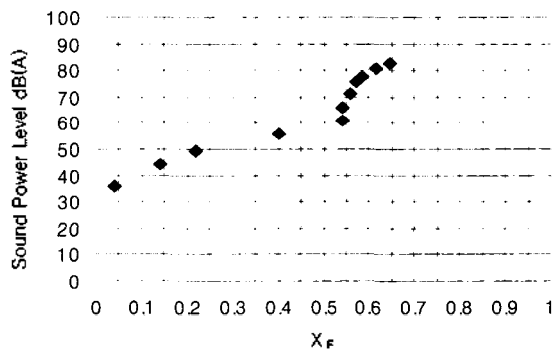


그림 4. 차압에 따른 음향파워레벨
Fig. 4. Sound power level to differential pressure.

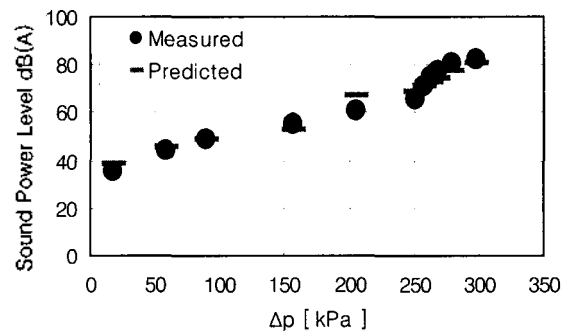


그림 6. 차압에 따른 음향파워레벨의 변화
Fig. 6. Sound power level vs. pressure.

명한 음향파워레벨 예측 기법에 따르면 예측식은 유량, 차압 이외에도 유체밀도, 유체내 음속, 배관길이, 배관직경, 배관두께, 배관재료 밀도 등을 변수로 사용할 수 있다. 이러한 양들을 예측식에 변수로 나타내면 보다 다양한 환경에 적용할 수 있는 식이 된다. 예를 들어 배관의 직경이 달라지는 경우의 예측식이 필요한 경우 새로 실험할 필요 없이 2,3의 소음예측식에서 배관 직경에 새 값을 대입함으로써 곧바로 사용할 수 있다.

기외에도 상대유량계수를 바꾸어 가면서 밸브소음예측을 시도하였다. 그 결과 밸브의 소음예측이 항상 그림 4와 같은 경향이 뚜렷이 나타나지 않는 경우가 존재하였다. 그러한 원인으로는 캐비테이션이 발생되지 않는 경우 등을 추정할 수 있다. 여기에 대해서는 지속적인 연구가 필요하다.

IV. 결론

잔향실을 이용한 콘트롤 밸브 소음 특성 평가 방법을 제안하였다. 잔향실에서 밸브의 음향파워레벨을 측정하고, IEC의 밸브소음예측기법과 결합하여 콘트롤 밸브에서 발생하는 소음을 예측할 수 있다. 이 방법은 무향실을 이용하는 기존의 방법에 비하여 설치 및 시험이 까다롭지 않은 장점이 있다. 또한 밸브의 지향성이 존재하는 경우라 하더라도 그대로 사용할 수 있다. 유체의 밀도, 배관의 재질 및 크기 등이 바뀌어도 소음예측이 가능하다.

제안된 방법에 따라 실제 사용되는 콘트롤 밸브에 대하여 소음을 측정하고 소음예측식을 결정하였다. 소음예측식을 측정결과와 비교한 결과 두 결과가 서로 잘 일치하고 있음을 알 수 있었다.

밸브제조회사에서는 밸브의 소음을 예측하기 위해서 데이터베이스를 구축하는데 이러한 방법을 사용할 수 있을 것이다. 제안된 밸브 소음 예측 기법은 현장에 적용하기에도 큰 무리가 없을 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. IEC 534-8-2, "Industrial process control valves - Part 8: Noise considerations - Section 2: Laboratory measurement of noise generated by hydrodynamic flow through control

valves," 1993.

2. IEC 534-8-4, "Industrial process control valves - Part 8: Noise considerations - Section Four: Prediction of noise generated by hydrodynamic flow," 1994.
3. ISO 3741, "Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources - Precision methods for broad-band sources in reverberation rooms," 1988.
4. H. D. Baumann and G. W. Page, Jr, "A method to predict sound levels from hydrodynamic sources associated with flow through throttling valves," *Noise Control Eng. J.*, 43 (5), 1995.

저자 약력

● 이 용 봉 (Yong-Bong Lee)



1982년 2월: 인하대학교 기계공학 (학사)
 1987년 2월: 한국과학기술원 기계공학 (석사)
 1987년 3월~1990년 2월: 한국중합기계 부설연구소 대리
 1990년 3월~현재: 한국표준과학연구원 음향진동그룹 선임연구원
 ※ 주관심분야: 진동 측정, 진동 센서 특성 평가

● 윤 병 로 (Byung-Ro Yoon)



1982년 2월: 대림대학교 기계공학 (학사)
 1985년 9월~현재: 한국표준과학연구원 역학연구부 선임기술원
 ※ 주관심분야: 유량측정

● 박 경 압 (Kyung-Am Park)



1971년 3월~1975년 2월
 1975년 2월: 서울대학교 기계공학 (학사)
 1977년 2월: 서울대학교 대학원 기계공학 (석사)
 1985년 12월: Iowa State University 기계공학 (박사)
 1985년 12월~1986년 10월: Iowa State University 연구원
 1986년 10월~현재: 한국표준과학연구원 역학연구부 책임연구원
 ※ 주관심분야: 유체계측

● 이 두 희 (Doo-Hee Lee)

한국음향학회지 제20권 제5호 참조

● 유 선 학 (Seun-Hak Yoo)



1971년 2월: 용산공업고등학교
 1979년~1985년: 삼양밸브(주)
 1987년~현재: 신한콘트롤밸브(주)
 1995년~1996년: 인하대 경영대학원
 ※ 주관심분야: 유량 밸브 제조 및 시험