

밸브의 소음 측정 방법

이 용봉* · 윤병로* · 권휴상* · 박경암* · 유선학**

Measurement method for valve noise

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

Key Words: Control valve(조절밸브), Sound power(음향파워), Measurement(측정)

ABSTRACT

Noise is one of the major environmental problems in human life. To reduce the noise emitted from the control valve it is necessary to develop the measurement method, measurement system, analysis method applicable to the field. In this study IEC and ISO standards were investigated and measurement method for the valve noise was proposed. Noise from the valve was measured in the reverberation room and sound power level was calculated. The sound power level increased as the flow rate and pressure difference increased. The noise characteristics are useful to predict valve noise for given conditions, to compare the performance of different valves and to develop low-noise valves.

1. 서 론

유체 전달 시스템은 주된 산업 소음원이며 이러한 유체 기계 시스템 내에서 소음에 기여하는 요소들로는 콘트롤 밸브류, 고속으로 흐르는 유체의 갑작스런 팽창, 컴프레서, 펌프 등이 있다. 이러한 기계 요소들 중에서 유체의 흐름을 조절하는 콘트롤 밸브는 소음문제에 있어서 가장 중요한 요인의 하나이다. 밸브의 기본적 기능을 충족시키기 위해서는 영구적인 수두손실이 필요하며 이러한 수두손실을 발생시키는 과정에서 유체 흐름에 의해 발생한 난류가 큰 소음을 유발하게 된다. 밸브의 고 부가가치화를 위해서는 소음문제에 대한 깊은 이해가 필요하며 이를 위한 기반 기술로서 밸브 소음의 정밀 측정이 필요하다.

밸브의 소음을 측정하는 몇가지 방법을 비교 검토해 보고 현장에서 적용하기에 적합한 방법을 선정하고자 하였다. 밸브 소음 측정 시스템에서 발생하는 소음 특성을 파악하기 위하여 필요한 제반 사항들 즉 측정 조건, 측정 방법, 데이터 분석 방법 등을 구체적으로 제시하고자 하였다. 또한 현장에서 사용되는 밸브를 선정하여 이로부터 발생하는 소음을 실험적으로 측정, 분석하여 보았다. 이러한 데이터를 축적하여 향후 밸브 소음 예측 연구를 위한 기초 자료로 활용할 수 있을 것이다.

2. 관련 규격 검토

2.1 IEC 534-8-2

이 규격은 콘트롤밸브를 지나는 유체에 의하여 발생하는 소음을 실험실에서 측정하는 방법에 대하여 기술하고 있다. 콘트롤밸브를 통하여 흐르는 유체에 기인하여 발생하는 음압레벨을 측정하는 방법과 캐비테이션의 발생에 의하여 소음이 증가하는 특성을 결정하는 방법을 포함한다. 규격의 주목적은 캐비테이션에 기인하는 소음 증가 특성을 결정하는 방법을 제공하는 것이다. 여기에서 소음이란 콘트롤밸브 자체에서 방사되는 소음과 관련 배관계에서 방사되는 소음을 모두 말한다. 밸브의 소음특성을 알고자 하는 한가지 커다란 이유는 콘트롤밸브의 특성압력비 X_{Fv} 를 결정하여 IEC 534-8-4에 언급되어 있는 소음예측기법에 적용하는 것이다.

Fig. 1 은 콘트롤밸브의 특성압력비를 결정하기 위한 시험 장치의 한가지 예를 보여준다. 시험품에 연결된 상부 및 하부 배관의 최대 길이에 대한 제한은 없다. 배관은 일직선 형태로, 일체로 되어야 한다.

시험 환경은 ISO 3744와 ISO 3745를 참고하도록 하고 있다. 압력비 X_F 는 다음과 같이 주어진다.

$$X_F = \frac{\Delta p}{p_1 - p_v}$$

X_F 가 충분히 커지면, 비캐비테이션 흐름에서 캐비테이션 흐름으로 바뀌게 된다. 캐비테이션으로 인하여 음압레벨이 증가하기 시작하는 압력차가 Δp_k 이고 그때의 압력비가 특성압력비 X_{Fk} 이다.

$$X_{Fk} = \frac{\Delta p_k}{p_1 - p_v}$$

일반적으로 X_F 는 개폐율에 따라 달라진다. 그러므로 상대

* 한국표준과학연구원

** 신한콘트롤밸브(주)

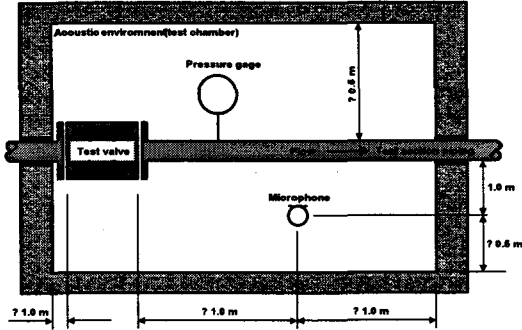


Fig. 1 Test valve inside acoustic environment

유량계수를 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 로 바꾸어가면서 측정하도록 한다. 상대유량계수 ϕ 에서 X_F 의 값을 $X_{F,\phi}$ 로 나타낸다.

X_{F2} 를 결정하는 방법에는 최대주파수법과 A-보정법이 있다. 최대주파수법에서는 음압레벨이 최대인 주파수를 결정하고 그 주파수에서 압력비를 변화시켜 가면서 음압레벨을 측정하게 된다. 캐비테이션 흐름 영역과 비캐비테이션 흐름 영역에서 Fig. 2 와 같이 직선 맞춤을 하였을때 두 직선의 교점이 X_{F2} 이다. 다른 상대유량계수에 대해서도 동일한 절차를 반복한다.

A-보정법으로 특성압력비를 결정하기 위해서는 A-보정음압레벨 (L_{PA})을 측정하여야 한다. 결정 과정이 Fig. 3에 나타나 있다. 압력비 X_F 를 감소시켜 가면서 캐비테이션 흐름으로부터 비캐비테이션 흐름으로 바뀌도록 한다. 각각의 X_F 에서 L_{PA} 를 측정한다. 위의 곡선으로부터 곡선의 기울기가 바뀌는 곳에서 근사값 X_{F3} 과 X_{F6} 를 결정한다. 범위 ΔX_{F1} 과 ΔX_{F2} 를 동일한 세 부분으로 나눈다. X_{F1} 에서 X_{F6} 까지의 각각의 값에서, A-보정 음압레벨을 측정하도록 한다. 이 절차를 두 번 더 반복하여 3 회의 측정값을 얻도록 한다. 각 X_F 에서 L_{PA} 의 대수 평균값 $\overline{L_{PA}}$ 을 계산하고 그 점들을 그린다. X_{F1} 에서 X_{F6} 까지의 각각의 값에서 $\overline{L_{PA}}$ 의 값을 사용하여 선형 회귀법으로 직선 1과 직선 2를 결정한다. 직선 1과 직선 2의 교차점을 결정한다. 이 점에서의 X_F 값이 X_{F2} 이다. 다른 상대유량계수에 대해서도 동일한 절차를 반복한다.

2.2 IEC 534-8-4

이규격은 밸브 특성을 규정짓는 변수들을 사용하여 밸브 및 배관계에서 방출되는 공력소음, 배관 내부의 음향파워레벨, 밸브에서 배관을 따라 하류쪽으로 1m, 배관벽으로부터 1m 떨어진 지점에서의 음압레벨을 결정하는 방법 등을 제시한다.

내부음향파워레벨 L_{w1} 을 계산한다. 점성이 크고 차압이 작거나 유량계수가 매우 작을때와 같은 층류(laminar flow) 영역에서는 문제가 될만한 소음레벨이 발생하지 않는다. 베나콘트라کت(vena contracta)를 지난 곳에서 난류가 형성되면 소음레

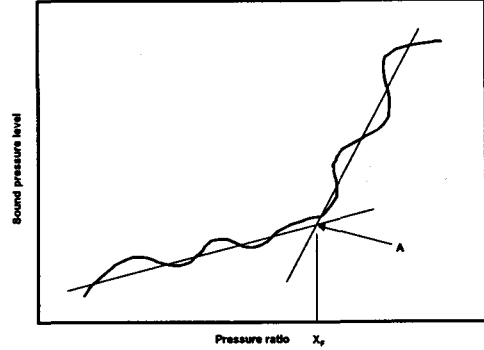


Fig. 2 Determination of X_{F2} by peak frequency method

벨은 흐름파워(stream power)에 비례하여 증가한다. 차압비 $X_F \geq X_{F2}$ 인 곳에서는 밸브에 캐비테이션(cavitation)이 발생하기 시작한다. 그러면 기포(bubble)가 일시적으로 붕괴하면서 캐비테이션 소음이 발생하고 이 소음이 난류에 의하여 발생하는 소음과 합하여 더욱 큰 소음이 난다.

캐비테이션이 발생하지 않는 경우와 캐비테이션이 발생하는 흐름의 경우 내부음향파워레벨의 계산 방법이 다르다. 캐비테이션이 발생하지 않는 흐름(non-cavitating flow)의 경우에는 다음식과 같이 계산한다.

$$L_{w1} = 120 + 10 \log \eta_F + 10 \log \dot{m} + 10 \log \Delta p - 10 \log \rho_F$$

캐비테이션 흐름(cavitating flow)의 경우에는 다음식과 같이 계산한다.

$$L_{w1} = 120 + 10 \log \eta_F + 10 \log \dot{m} + 10 \log \Delta p - 10 \log \rho_F + \Delta L_F + 180 \cdot \frac{(X_{F2,\phi})^{0.0625}}{(X_F)^{X_{F2,\phi}}} \cdot (1 - X_F)^{0.8} \cdot \log \left[\frac{1 - X_{F2,\phi}}{1 - X_F} \right]$$

내부음향파워의 스펙트럼분포는 설계, 압력비, 상대유출계수,

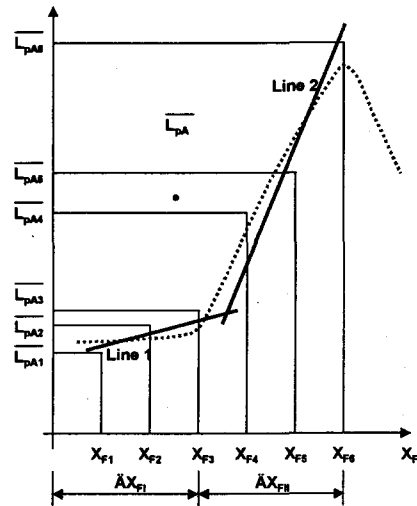


Fig. 3 Determination of X_{F2} by measuring the overall L_{pA} at a constant valve travel

드 음향파위레벨, 옥타브 음향파위레벨 또는 A-보정 음향파위레벨을 얻을 수 있다.

평균음압레벨을 측정하는 방법은 다음과 같다. 마이크로폰을 적어도 3 m 이상의 거리에 걸쳐서 일정한 속력으로 움직여가면서 측정하든지 또는 세 개 이상의 마이크로폰을 $\frac{\lambda}{2}$ 이상의 간격을 두고 고정 설치하여 측정한다. λ 는 측정하고자 하는 최저주파수에 해당하는 음파의 파장을 의미한다. 이렇게 측정된 음압레벨을 다음식에 대입하여 주파수 대역별 평균음압레벨을 계산한다.

$$L_P = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (10^{0.1L_i}) \right]$$

이 값들을 이용하여 음향파위레벨을 계산할 수 있다. 대역별 음향파위레벨은 다음식을 사용하여 구한다.

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

A-보정 음향파위레벨 L_{WA} 은 다음식을 사용하여 구할 수 있다.

$$L_{WA} = 10 \log_{10} \sum_{i=1}^N 10^{0.1(L_{wi} + C_i)}$$

2.5 밸브 소음 측정 방법 검토

IEC 534-8-2는 특성압력비를 결정하는 방법을 주로 기술하고 있다. 소음측정환경은 ISO 3745에 근거를 두고 있다.

IEC 534-8-4는 압력복원인자, 특성압력비, 방사효율, 밀도, 유량, 상대유출계수, 음속, 관의 직경 및 길이 등을 측정하여 밸브에서 발생하는 음향방사파워, 음압레벨을 예측하는 기법을 소개하고 있다. 그러나 이 방법은 실제로 음향파위를 측정하지 않고 있으며 그 오차에 대한 언급이 없다. 실제로 음향파위를 측정하기는 쉽지 않은 구조로 여겨진다. 또한 무향실 구조로 제작하여야 하므로 상대적으로 제작비용이 많이 든다.

ISO 3745가 가장 정밀한 음향파위측정방법이다. 그러나 무향실을 제작하기 위해서는 많은 비용이 필요하다. 또한 음원으로부터 마이크로폰의 설치 위치까지의 거리가 정확해야

Table 1 Uncertainty in determining sound power levels

ISO번호	옥타브밴드 (Hz)	125	250	500	1000-4000	8000	보정
	1/3옥타브밴드 (Hz)	200	200	400	800	6300	
3741		-160	-315	-630	-5000	-10000	
3742		3	2	1.5	1.5	3	-
3743		5	3	2	2	3	2
3744		3	2	2	1.5	2.5	2
3745	무향실	1	1	1	0.5	1	-
	반 무향실	1.5	1.5	1.5	1	1.5	-
3746		-	-	-	-	-	5

하는 등 측정과정이 매우 까다롭다. 사실상 현장 적용방법으로는 적합하지 않다.

ISO 3741에서 제시하는 전향실을 이용하여 음향 파위를 측정하는 방법은 상대적으로 접근이 쉽다. 전향실의 제작비용도 상대적으로 저렴하고 소음의 측정방법도 용이하기 때문이다. 무향실법에 비하여 측정오차가 약간 떨어지기는 하지만 현장에서 밸브의 성능을 평가하기에는 충분할 것으로 판단된다. ISO 3741의 음향파위 측정방법을 IEC 534-8-2의 특성압력비 결정에 사용하고 이를 IEC 534-8-4에 적용하게 되면, 음향파위의 예측식도 상대적으로 간편하게 결정할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 음향파위 측정 장치

Fig. 5는 콘트롤 밸브의 음향파위를 측정하기 위한 전체 구성도이다. 펌프, 각종 밸브, 압력계, 유량계, 마이크로폰, 전향실 등으로 구성되어 있음을 볼 수 있다. 시험 절차는 다음과 같다.

전향실내에 배관계를 설치하고 전향실 밖에 설치된 펌프를 동작시켜 배관계에 물을 흐르게 한다. 차압을 맞춘 뒤 마이크로폰을 사용하여 전향실내의 여러 위치에서 밸브에서 발생하는 소음을 측정하고 2.4 절의 절차에 따라서 음향파위레벨을 결정한다. 본 실험에 사용된 전향실의 체적은 250 m³이다. 밸브에서 발생하는 소음을 전체음향파위레벨 및 1/3 옥타브밴드 음향파위레벨로 나타내었다. 측정 주파수 범위는 100 Hz부

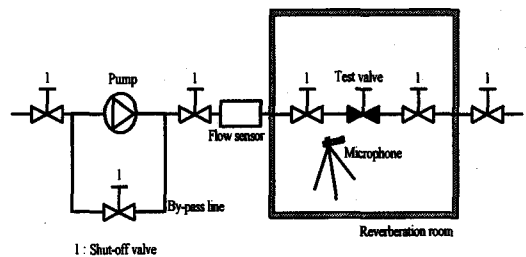
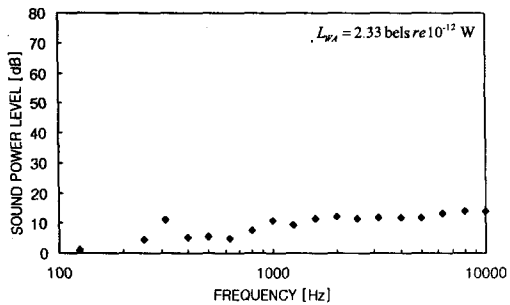


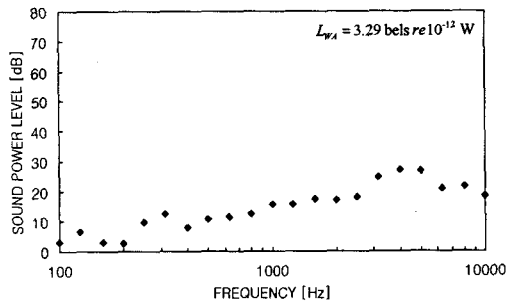
Fig. 5 Schematic diagram of valve noise measurement



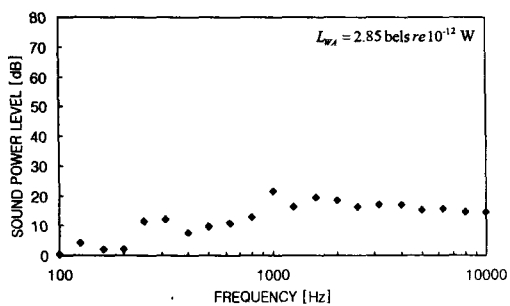
Fig. 6 Test valve in a reverberation room



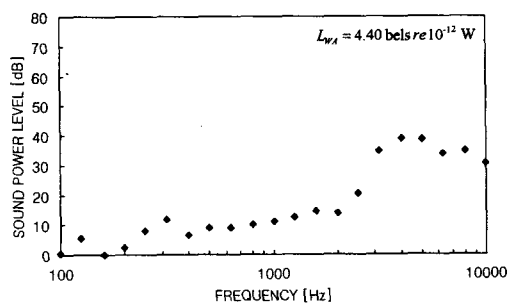
(a) $\Delta P = 0.25 \text{ kg/m}^3$



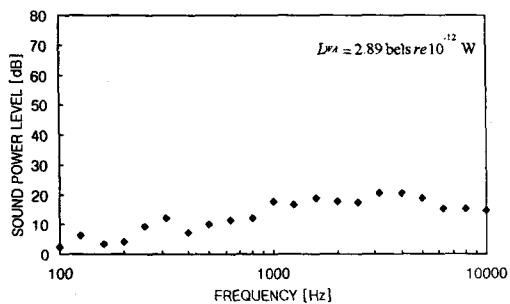
(d) $\Delta P = 1.5 \text{ kg/m}^3$



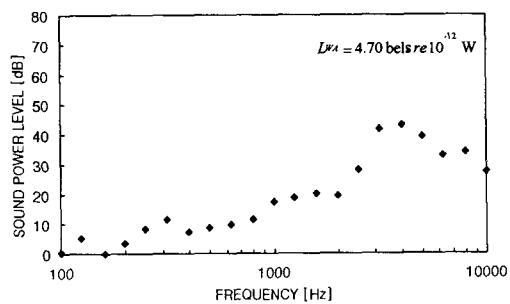
(b) $\Delta P = 0.44 \text{ kg/m}^3$



(e) $\Delta P = 2.0 \text{ kg/m}^3$



(c) $\Delta P = 1.0 \text{ kg/m}^3$



(f) $\Delta P = 2.5 \text{ kg/m}^3$

Fig. 7 1/3-Octave band Sound power level - pressure difference

Table 2 pressure difference versus sound power lever

밸브 종류	차압(ΔP (kg/m ²)	유량 (l/min)	음향파워레벨(L _{WA}) (bels re 10 ⁻¹² W)
	0.25	2.8	2.33
	0.44	2.4	2.85
15A	1.0	3.0	2.89
(3 l/min	1.5	2.7	3.29
	2.0	2.7	4.40
	2.5	2.5	4.70
	0.2	2.9	2.20
	0.5	2.9	2.26
20A	1.0	2.8	2.32
(4 l/min	1.5	2.2	2.45
	2.0	2.1	2.58
	2.5	1.8	2.67
	0.2	9.0	3.45
	0.5	9.4	3.63
25A	1.0	8.2	3.56
(10 l/min	1.6	7.4	4.61
	2.0	7.3	5.13
	2.6	7.8	5.32

10000 Hz 까지이다.

4. 밸브소음 측정결과 및 분석

Table 2 는 밸브의 전체 음향파워레벨을 나타낸 것이고 Fig. 7 은 정유량밸브 15A 모델에 대한 1/3 옥타브 음향파워레벨을 주파수에 따라 나타낸 것이다. 그림에서 세로축은 A-보정 음향파워레벨이다.

이상으로부터 차압에 따라 정유량 밸브에서 발생하는 소음 레벨도 증가하고 있음을 알 수 있으며 특히 4 kHz 대역의 소음이 크게 증가하고 있음을 알 수 있다. 반면에 25A의 경우에는 보다 넓은 주파수 대역에서 소음 증가하는 특성을 보였다. 이러한 원인은 아직까지 정확히 파악되지 않았다. 원인을 파악하기 위해서는 앞에서 살펴본 밸브 소음에 영향을 주는 인자들에 대한 평가가 수행되어야 한다. 앞으로 이에 대한 연구가 필요하다.

실험 도중에 배관에 공기가 존재하는 경우가 관찰되었는데 보다 정밀한 실험을 위해서는 해결되어야 할 문제이다. 예를 들면 펌프를 사용하지 않고 높은 곳에 물탱크를 설치하여 유체를 흘려주는 방법등을 생각할 수 있다.

아직까지 밸브에 대한 상세 데이터를 파악하지 못한 상태이므로 소음 예측식을 만들지는 못하였다.

5. 결 론

콘트롤 밸브의 소음 측정과 관련하여 몇가지 규격을 살펴본다. 먼저 밸브 및 배관으로 이루어진 시스템에서 소음 발생에 영향을 주는 인자 및 발생 소음을 예측하는 절차를 살펴본다. 특성압력비와 같은 인자들은 측정을 통하여 음파의 속도나 밀도 등과 같은 인자들은 문헌을 통하여 평가할 수 있다.

ISO에 제시된 음향파워를 측정하는 방법에 대하여 검토하였다. 밸브의 소음을 측정할 때 무향실 보다는 제작 비용이 적게 들고 측정도 간편한 잔향실을 이용할 것과 잔향실에서 음향파워레벨을 측정된 뒤 그 결과를 IEC의 밸브 소음 평가 절차에 적용하여 밸브 소음 예측에 적용할 것을 제안하였다.

밸브의 소음을 측정하기 위한 시스템을 제작하고 ISO의 음향파워 측정방법중 잔향실법에 따라서 정유량 밸브에서 발생하는 소음을 측정하였다. A-보정 음향파워레벨 및 1/3 옥타브 음향파워레벨을 계산하고 차압에 따른 밸브의 소음특성을 살펴본다. 차압 및 유량이 증가할 때 밸브 소음이 특정 주파수에서 증가하는 것을 볼 수 있었다.

이러한 현상의 원인을 파악하기 위해서는 관련된 여러 가지 인자들의 영향을 체계적으로 평가해 보아야 할 것이다. 밸브 소음에 영향을 주는 인자들을 정량적으로 평가하여 특정밸브에 대한 소음 예측도 시도해 볼 예정이다.

본 연구에서 제시한 밸브의 소음 측정 기술은 새로운 밸브의 소음특성 평가, 밸브 소음의 예측, 저소음 밸브의 설계, 개발 그리고 서로 다른 밸브 사이의 성능비교 등에 도움이 될 것으로 사료된다.

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 3745 : 1977(E), Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources - Precision methods for anechoic and semi-anechoic rooms
4. ISO 3741 : 1988(E), Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources - Precision methods for broad-band sources in reverberation rooms