

# ISO 15848-1에 따른 비산 배출이 낮은 PFA 라이닝 볼밸브 개발

이원호\* · 김동열\*\* · 이종철\*\*\*†

## Development of a PFA Lined Ball Valve for Low Fugitive Emissions According to ISO 15848-1

Won-Ho Lee\*, Dong-Yeol Kim\*\*, Jong-Chul Lee\*\*\*†

*Key Words* : Fugitive Emission(비산 배출), Helium Leakage(헬륨 누설), Helium Pressurization Method(헬륨 가압법), Leak Rate(누설률), PFA Lined Ball Valve(PFA 라이닝 볼밸브)

### ABSTRACT

A PFA lined ball valve, which is machined with fluorinated resin PFA to its inner part and ball for better corrosion resistance, non-stickness, heat-resistance, has been used for extreme operating conditions of high temperature (~120°C) and high pressure (~10 bar), and therefore the reliability of its fugitive emission is very important. Fugitive emissions are leaks of chemicals, which come into contact with the atmosphere in an unexpected or undesired way in equipment. In this study, we have conducted the helium leakage measurement of a PFA lined ball valve according to ISO 15848-1 with mechanical and thermal conditions. It was found that the helium leakage of a PFA lined ball valve at room temperature was not occurred to all number of mechanical cycles, 20,000, 60,000 and 100,000. When the thermal condition (100°C) was considered together with the mechanical conditions, its helium leakage with the number of cycles 100,000 was happened slightly to 1.0E-9 Pam<sup>3</sup>/s. But its helium leakage rate has not exceeded the requirement of Class AH stated in standard ISO 15848-1.

### 1. 서 론

PFA 라이닝 볼밸브(PFA lined ball valve)는 일반적인 산업용과 볼밸브와 기능은 동일하지만 구조적인 차이점을 갖고 있는데, 밸브 내면부와 볼(ball)에 내식성, 비점착성, 내열성 향상을 위한 불소계 수지 PFA(Perfluoroalkoxy)로 가공되어 있는 것이다. 따라서 고온(~120°C) 및 고압(~10 bar)에서 강한 부식성을 갖는 염산, 황산 등의 화학물질을 이송시킬 수 있는 화학약품 제조 공정, 석유화학 및 LCD/반도체 산업 등에서 사용되고 있다.<sup>(1)</sup>

비산 배출(fugitive emission, FE)은 화학물질들의 누설로서 설비에서 기대되지 않고 원하지 않는 방향으로 화학물질들이 대기와 접촉하게 되는 것이다. 미국 환경보호단체에

서는 석유화학 플랜트에서 발생하는 비산 배출의 대부분인 60% 정도가 밸브에서 발생된다고 보고하고 있으며, 근래 빈번한 불산 노출사고 내용을 마스크에서 접할 수 있는 것처럼 PFA 라이닝 밸브가 설치되는 산업현장에서는 미소 누설에도 치명적인 사고가 발생할 수 있기 때문에 낮은 비산 배출을 갖는 PFA 라이닝 밸브 개발을 위한 설계 및 평가 방법이 중요하다.<sup>(2,3)</sup>

이전 연구에서는 (주)케이투엔에서 생산/판매 중인 PFA 라이닝 볼밸브를 대상으로 헬륨누설(helium leakage) 검출 및 비산배출 실험 및 데이터 분석을 수행하였는데, 실제 밸브의 작동조건 등이 고려되지 않은 밸브에 관한 결과이기 때문에 국제 규격 ISO 15848을 만족한 결과라 할 수 없다.<sup>(4)</sup> 따라서 PFA 라이닝 다이어프램 밸브를 대상으로 ISO 규격

\* 강릉원주대학교 대학원 자동차공학과(Graduate School of Automotive Engineering, Gangneung-Wonju National University)

\*\* (주)케이투엔(K2N Co., Ltd.)

\*\*\* 강릉원주대학교 기계자동차공학부(School of Mechanical and Automotive Engineering, Gangneung-Wonju National University)

† 교신저자, E-mail : jcleee01@gwnu.ac.kr

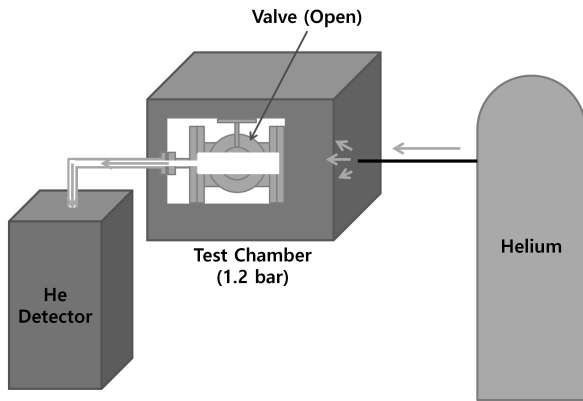


Fig. 1 Experimental setup for measurement of helium leakage from a valve installed in a pressurized test chamber

에 따른 비산 배출에 관한 신뢰성을 평가한 것처럼 PFA 라이닝 볼밸브에 관한 연구개발도 필요하다.<sup>(5)</sup>

본 연구에서는 (주)케이투엔에서 생산/판매 중인 PFA 라이닝 볼밸브의 작동조건 등을 고려한 비산배출 평가를 위해 국제 규격 ISO 15848-1에 따라 기계적 작동조건 및 열적 고온조건이 고려된 헬륨 누설 측정 실험을 진행하였다. 헬륨 누설률(leakage rate) 측정의 정밀도를 향상시키기 위하여 헬륨 가압법(helium pressurization)을 이용하여 비산배출에 관한 안전성을 평가하고자 하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 실험 방법

본 연구에서는 국제규격 ISO 15848-1에 제시된 방법으로 PFA 라이닝 볼밸브의 헬륨 누설률을 측정하기 위하여 Fig. 1과 같은 실험 장치를 구성하였다. 헬륨 누설 측정기(helium leak detector)는 산업용 공정에서 누설 검출에 다양하게 사용되고 있는데, 헬륨의 원자질량(atomic mass)이 작아서 누설되는 공간을 찾는 능력이 뛰어난 특성을 가졌기 때문이다. 헬륨 누설 검출은 밸브가 장착될 수 있는 가압 챔버에서 수행되었는데, 대기 중에서 헬륨 가스를 뿌려 측정하는 방식보다 헬륨 누설률 검출의 정밀도를 향상시킬 수 있다.

실험에 사용된 PFA 라이닝 볼밸브는 (주)케이투엔에서 생산/판매 중인 제품을 사용하였고, ISO 15848-1 규격에 따라 기계적 작동 및 열적 고온 조건이 고려된 PFA 라이닝 볼밸브 시료를 준비하였다. ISO 15848-1 규격에 따라 Fig. 2와 같이 공압 액추에이터를 사용하여 밸브의 Open/Close 작동을 상온에서 20,000회(CC1 등급), 60,000회(CC2 등급), 100,000회(CC3 등급) 실시한 시료 3개를 준비하였다. 또한 Fig. 3과 같이 가열 챔버(heating chamber)를 이용하여 밸브의 온도를 100°C로 가열하여 ISO 15848-1에서 제시한 온

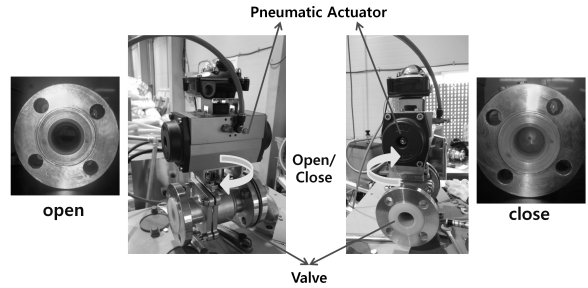


Fig. 2 Mechanical operation of the valve using a pneumatic actuator

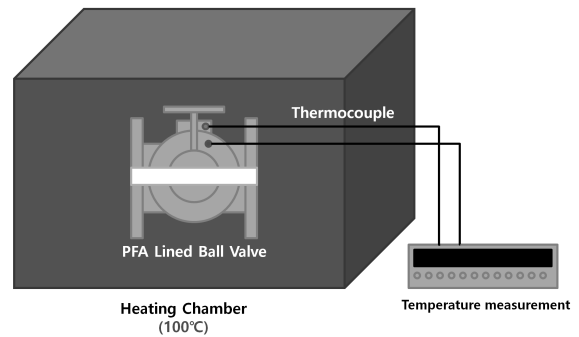


Fig. 3 Thermal operation of the valve using a heating chamber

도 규정에 따라 PFA 라이닝 볼밸브의 헬륨 누설률을 측정할 수 있도록 실험장치를 구성하였다.

헬륨 누설률 측정은 Fig. 5에 나타난 바와 같이 상온에서 준비된 시료 3개에 대해서 수행한 후(no.1~no.3) 시료 3개를 각각 100°C로 가열하여 수행하였으므로(no.4~no.6) 총 6가지 경우에 대해서 진행하였다. 측정데이터의 신뢰성을 확보하기 위하여 동일한 조건에서의 헬륨 누설률 측정을 5회 진행하여 평균값을 PFA 라이닝 볼밸브의 헬륨 누설률 평가에 사용하였다.

본 실험에서는 ISO 15848-1의 헬륨 누설 측정 방법에 따라 헬륨 누설률 측정의 정밀도를 향상시킬 수 있는 헬륨 가압법을 이용하였다. 밸브를 가압 챔버에 장착한 후 약 0.2 bar의 압력으로 챔버 내부를 가압하여 헬륨 누설률 측정을 진행하였다. 헬륨 가스를 가압 챔버에 채우기 전 헬륨 누설률을 측정하여 이를 초기 헬륨 누설률( $L_0$ )로 설정하고, 헬륨 가스를 가압 충전하여 측정된 헬륨 누설 측정률( $L_a$ )에서 초기 헬륨 누설률을 빼서 이 값을 밸브에서 발생한 유효 헬륨 누설률(effective helium leak rate,  $L_e$ )로 산정하였다.

ISO 15848-1 규격에서 제시하고 있는 밸브 스템 실링부에 대한 기밀도 A등급(AH), B등급(BH), C(CH)등급의 헬륨 누설률 임계값( $L_c$ )은 본 연구에 사용된 40A 밸브의 스템 직경을 20 mm로 설정하면 각각  $3.52 \times 10^{-8}$  [ $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ],  $3.52 \times 10^{-6}$  [ $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ],  $3.52 \times 10^{-4}$  [ $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ]이 누설평가의 기준이 된다<sup>(6~8)</sup>. 헬륨 누설률  $1 \times 10^{-6}$  [ $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ]( $=1 \times 10^{-5}$  [ $\text{atm} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$ ])이 의미하는 것은 대략 하루에  $1 \text{ cm}^3$ 의 누설이

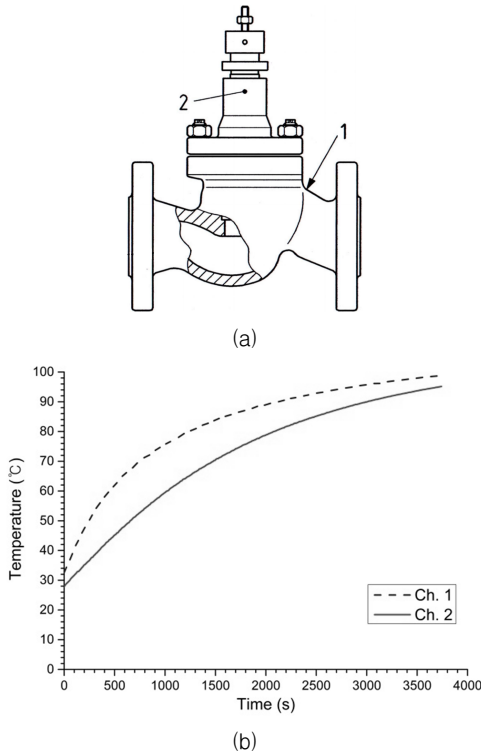


Fig. 4 (a)Measurements of temperature and (b)stabilization of temperatures according to ISO 15848-1

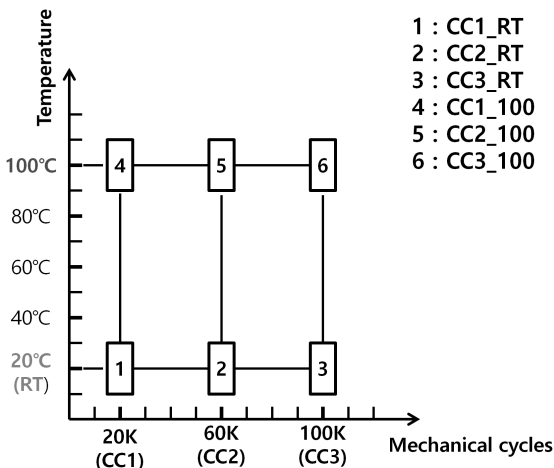


Fig. 5 The procedure of helium leak test with mechanical and thermal cycles

발생하는 것이고,  $1 \times 10^{-8}$  [Pa·m<sup>3</sup>/s]이 의미하는 것은 일 년에 3 cm<sup>3</sup>의 누설이 발생하는 것이다.

## 2.2 실험 결과

본 연구에서는 ISO 15848-1에서 제시한 시험방법에 따라 기계적 동작 횟수(20,000회, 60,000회, 100,000회) 및 열적 가열(100°C) 조건이 고려된 PFA 라이닝 볼밸브 시료에 대해

Table 1 Measured Leak Rate and Tightness Class of PFA Lined ball Valves at Room Temperature According to ISO15848-1

	20,000 Cycles	60,000 Cycles	100,000 Cycles
Before He Spray, $L_0$ [Pa·m <sup>3</sup> /s]	$5.25 \times 10^{-8}$	$1.06 \times 10^{-7}$	$1.54 \times 10^{-7}$
After He Spray, $L_a$ [Pa·m <sup>3</sup> /s]	$5.11 \times 10^{-8}$	$1.01 \times 10^{-7}$	$1.54 \times 10^{-7}$
Effective Leak Rate, $L_e$ [Pa·m <sup>3</sup> /s]	-	-	-
Guideline for Leak Rate [Pa·m <sup>3</sup> /s]	Stem Diameter, 20 mm: $3.52 \times 10^{-8}$		
Tightness Class	AH	AH	AH

Table 2 Measured Leak Rate and Tightness Class of PFA Lined ball Valves at High Temperature (100°C) According to ISO15848-1

	20,000 Cycles	60,000 Cycles	100,000 Cycles
Before He Spray [Pa·m <sup>3</sup> /s]	$1.00 \times 10^{-7}$	$1.00 \times 10^{-6}$	$1.63 \times 10^{-7}$
After He Spray [Pa·m <sup>3</sup> /s]	$1.00 \times 10^{-7}$	$9.59 \times 10^{-7}$	$1.64 \times 10^{-7}$
Effective Leak Rate [Pa·m <sup>3</sup> /s]	-	-	$1 \times 10^{-9}$
Guideline for Leak Rate [Pa·m <sup>3</sup> /s]	Stem Diameter, 20 mm: $3.52 \times 10^{-8}$		
Tightness Class	AH	AH	AH

여 헬륨 가압법을 이용하여 헬륨 누설률을 측정하였다. 그리고 ISO 15848-1 규격에서 제시한 기밀도 등급 임계값을 토대로 PFA 라이닝 볼밸브 시료의 비산배출 등급을 평가하였다. Table 1에 공압 액추에이터를 이용하여 기계적 작동을 20,000회, 60,000회, 100,000회 실시한 밸브 시료 3종류에 대하여 상온에서 헬륨 누설률을 측정된 결과를 나타내었다. 헬륨 분사 전 측정된 헬륨 누설률( $L_0$ )과 헬륨 분사 후 측정된 헬륨 누설률( $L_a$ )의 차인 유효 헬륨 누설률( $L_e=L_a-L_0$ )이 영이므로 시료에서 발생된 비산 배출이 없음을 의미한다. 따라서 ISO 15848-1 규격에서 제시하고 있는 밸브 스템 실링부 기밀도 등급 분류에 따라 본 연구에 사용된 시료는 기계적 작동 횟수에 관계없이 상온에서 A등급(AH)임을 확인하였다.

Table 2에 밸브 시료를 고온(100°C)으로 가열하여 기계적 작동을 20,000회, 60,000회, 100,000회 실시한 밸브 시료 3종류에 대하여 헬륨 누설률을 측정된 결과를 나타내었다. 기계적 작동을 20,000회와 60,000회 한 시료들은 상온의 결과와 동일하게 유효 헬륨 누설률이 영이었으나, 100,000회 한 시료는 유효 헬륨 누설률  $1 \times 10^{-9}$  [Pa·m<sup>3</sup>/s]가 측정되었다. 즉, 기계적 동작 횟수가 많고 고온인 시료는 헬륨 누설이 발생될 확률이 높다는 것을 의미하며, 이는 밸브의 수명과도

밀접한 관련이 있는 것으로 사료된다. 하지만 ISO 15848-1 규격에서 제시하고 있는 밸브 스템 실링부 기밀도 등급 분류에 따르면 고온에서도 기계적 작동 횟수에 관계없이 상온에서 A등급(AH)임을 확인하였다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 (주)케이투엔에서 생산/판매 중인 PFA 라이닝 볼밸브를 대상으로 국제 규격 ISO 15848-1에 따른 기계적 동작 횟수 및 열적 고온 조건을 고려한 헬륨 누설 측정 및 비산배출에 관한 안전성을 평가하였다.

- 1) 기계적 작동 횟수 20,000회, 60,000회, 100,000회를 적용된 PFA 라이닝 볼밸브 시료들의 헬륨 누설률 측정 결과 모든 시료에서 누설이 발생하지 않았으며, ISO 15848-1의 최고 기밀도 등급인 AH 등급을 만족하는 것을 확인할 수 있었다.
- 2) 밸브 시료들을 가열 챔버에서 밸브 온도를 100°C까지 가열한 후 헬륨 누설률을 측정한 결과 기계적 작동 횟수 20,000회와 60,000회가 적용된 시료들에서는 누설이 발생하지 않았으나 100,000회 적용된 시료에서는  $1 \times 10^{-9}$  [Pa·m<sup>3</sup>/s] 유효 헬륨 누설률이 발생하였다.
- 3) 기계적 동작 횟수가 많고 고온인 시료는 헬륨 누설이 발생할 확률이 높다는 것을 의미하며, 이는 밸브의 수명과도 밀접한 관계가 있는 것으로 보다 체계적인 연구가 필요한 부분이다.
- 4) PFA 라이닝 밸브에서의 비산 배출은 밸브 수명에 의해 민감하게 변할 수 있기 때문에 추후 연구에서는 실제 현장에서 사용되고 있는 밸브에 관한 데이터를 확보하는 것이 필요하다.

### 후 기

본 논문은 교육과학기술부의 출연금으로 수행한 강릉원주대학교 산학협력선도대학(LINC) 육성사업의 연구결과입니다.

다. 또한 강릉원주대학교 전일제대학원장학금을 지원받아 작성이 되었습니다.

### References

- (1) Hayes, W. C., 2012, "Fluoropolymer Lined Ball Valve Design Breakthrough," AICHEMA Congress, Germany, June, pp. 18~22.
- (2) Hassim, M. H., Hurme, M., Amyoye, P. R., and Khan, F. I., 2012, "Fugitive Emissions in Chemical Process: The Assessment and Prevention Based on Inherent and Add-on Approaches," Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 25, No. 5, pp. 820~829.
- (3) Teles, D. B. and Mariano, J. F., 2017, "Project and Validation of Industrial Valves for Low Fugitive Emissions," Valve World Americas, pp. 7~9.
- (4) Lee, W. H., Kim, D. Y., and Lee, J. C., 2016, "Study on the Fugitive Emissions of a PFA Lined Ball Valve through Helium Leak Detection," The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 19, No. 4, pp. 39~42.
- (5) An, J. H. and Lee, J. C., "Study on Helium Leakage Measurement of a PFA Lined Diaphragm Valve Considering Mechanical and Thermal Conditions," The KSFM Journal Fluid Machinery, Vol. 20, No. 6, pp. 59~62.
- (6) ISO 15848-1, 2006, "Industrial Valves - Measuring, Testing and Qualification Procedures for Fugitive Emissions - Part 1 : A Classification System and Qualification Procedures for Type Testing of Valves," ISO 2006.
- (7) Choi, M. H., Kim, H. J., and Choi W. C., 1993, "Helium Leak Test for the PLS Storage Ring Chamber," Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing, Vol. 13, No. 3, pp. 31~38.
- (8) Kim, S. H., Park, S. Y., Kim, O. K., and Cho, W. K., 2015, "A Study on the Leak Testing Method during the Assembling Process of a Liquid Rocket Engine," Proceedings of the 2015 KSPE Spring conference, pp. 792~795.