

# 기계적 및 열적 조건을 고려한 PFA 라이닝 다이어프램 밸브의 헬륨누설 측정에 관한 연구

안정호\* · 이종철\*\*†

## Study on Helium Leakage Measurement of a PFA Lined Diaphragm Valve Considering Mechanical and Thermal Conditions

Jeong-Ho An\*, Jong-Chul Lee\*\*†

*Key Words* : Fugitive Emission(비산 배출), Helium Leakage(헬륨 누설), Leak Rate(누설률), PFA Lined Diaphragm Valve (PFA 라이닝 다이어프램 밸브)

### ABSTRACT

A PFA lined diaphragm valve, which is machined with fluorinated resin PFA to its inner part and diaphragm 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. In this study, we have conducted the helium leakage measurement of a PFA lined diaphragm valve according to ISO 15848-1 with mechanical and thermal conditions. It was found that the helium leakage of a PFA lined diaphragm valve was occurred increasingly by the mechanical conditions, 20,000, 60,000 and 100,000 cycles, respectively. Its helium leakage rate has not exceeded the allowed standard of ISO 15848-1 to 20,000 and 60,000 cycles but has gone over to 100,000 cycles. When the thermal condition (100°C) was considered together with the mechanical conditions, its helium leakage has decreased slightly due to the thermal expansion of a diaphragm sheet in a PFA lined diaphragm valve.

### 1. 서 론

다이어프램 밸브는 유체가 케이싱 내에 남아있는 것을 방지하기 위하여 금속 재질의 밸브 몸통부와 고무 재질의 다이어프램이 상접하는 구조를 갖는다. 금속 재질의 밸브 몸통부와 고무 재질의 다이어프램이 서로 밀착되면 유체는 폐쇄되고, 떨어지면 유체가 통과하게 되는 밸브이다.<sup>(1,2)</sup>

다이어프램 밸브는 크게 두 가지 형태로 나누어지는데, 기계 공급에 사용되는 금속재질의 다이어프램 밸브와 약품과 초순수 유체공급에 사용되는 내식 및 내약품성이 강한 불소수지 재질의 다이어프램 밸브이다.<sup>(3)</sup> 불소수지 재질의 밸브에는 PFA 라이닝 다이어프램 밸브(PFA lined diaphragm valve)가 있는데, 고온(~120°C) 및 고압(~10 bar)에서 사용

가능한 내열성, 내약품성과 내후성을 가지고 있어 주로 반도체나 LCD 디스플레이 제조공정에 많이 사용되고 있다.<sup>(4)</sup>

PFA 라이닝 다이어프램 밸브는 반도체나 디스플레이 제조공정에서 많이 사용되고, 작동유체로 고순도 화학물질이 사용된다. 이러한 화학물질은 미소 누설에도 인명피해가 발생하기 때문에 PFA 라이닝 다이어프램 밸브에 대한 비산배출 평가가 중요하다.<sup>(5-7)</sup> 선행 연구에서 (주)케이투엔에서 생산/판매 중인 PFA 라이닝 볼밸브를 대상으로 헬륨누설 검출 및 비산배출 실험 및 데이터 분석을 수행하였고, ISO 15848-1에 제시된 허용 누설율에 관한 기준에 만족한다는 것을 확인하였다.<sup>(8)</sup> 하지만 ISO 15848-1에서 제시되어 있는 기계적 및 열적 조건을 고려하지 않은 새제품에 관한 결과이기 때문에 100% 국제 규격을 만족한 방법이라 할 수 없다.<sup>(9)</sup>

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

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

† 교신저자, E-mail : jcleee01@gwnu.ac.kr

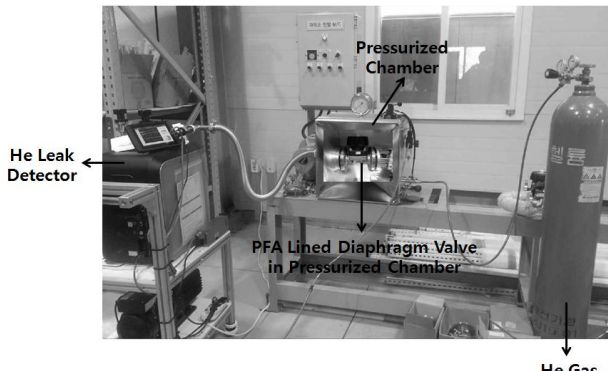


Fig. 1 Helium leak test using a pressurized vacuum method

본 연구에서는 (주)케이투엔에서 생산/판매 중인 PFA 라이닝 다이어프램 밸브의 헬륨 누설을 국제 규격에 따라 측정하기 위하여 기계적 및 열적 조건이 고려된 PFA 라이닝 다이어프램 밸브를 대상으로 가압 진공법을 사용한 헬륨 누설 측정 실험을 진행하였고, ISO 규격에 따른 비산배출에 관한 신뢰성을 평가하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 실험 방법

본 연구에서는 기계적 및 열적 조건이 고려된 PFA 라이닝 다이어프램 밸브의 비산배출을 평가하기 위한 헬륨 누설 측정 실험을 위해 국제규격 ISO 15848-1에 제시된 방법으로 실험을 진행하였다. 시험 유체는 헬륨 가스가 사용되었고, Fig. 1과 같이 헬륨가스의 누설 측정을 위해 ULVAC社의 HeLiOT Leak Detector 및 가압 챔버 등을 사용하여 실험을 진행하였다.

실험에서 사용되는 PFA 라이닝 다이어프램 밸브는 (주)케이투엔에서 생산/판매 중인 제품을 사용하였고, 실제 현장에서 사용되는 고온 및 작동 조건을 고려하기 위해 기계적 및 열적 조건이 고려된 PFA 라이닝 다이어프램 밸브 시료를 준비하였다. 열적 조건을 적용하기 위해 Fig. 2와 같은 가열 챔버를 사용하여 밸브를 가열하였다. Fig. 3과 같이 ISO 15848-1에 따라 밸브 몸통부 온도가 100°C 이상 되었는지를 Keithley社의 Multimeter 2700 및 열전대를 사용하여 온도를 측정하였다. ISO 15848-1에서 제시한대로 밸브 작동부와 몸통부 및 유로 등 3곳의 온도를 측정하여 열적 조건의 반영을 확인하였다. 그리고 가열 챔버에서 온도가 상승된 PFA 라이닝 다이어프램 밸브 시료를 꺼내서 헬륨 누설 측정을 위한 가압 챔버에 시료를 설치하여 헬륨 누설 측정 실험을 진행하였다.

PFA 라이닝 다이어프램 밸브에 기계적 조건을 적용하기 위하여 Fig. 4와 같이 Burkert社 공압 액추에이터를 사용하

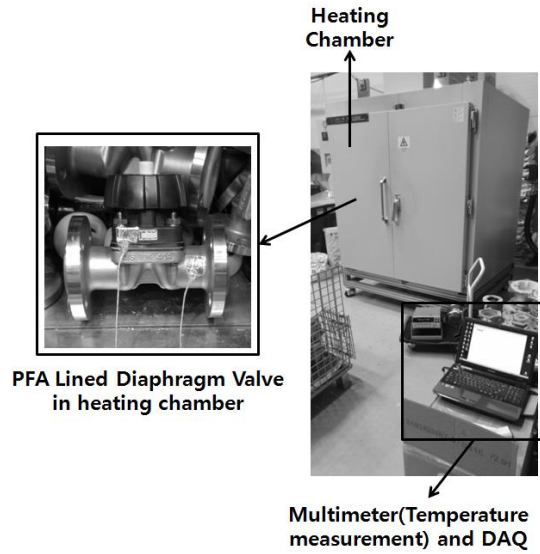
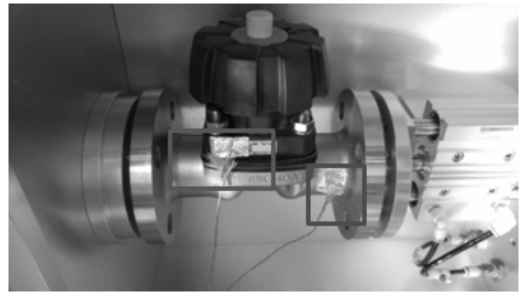
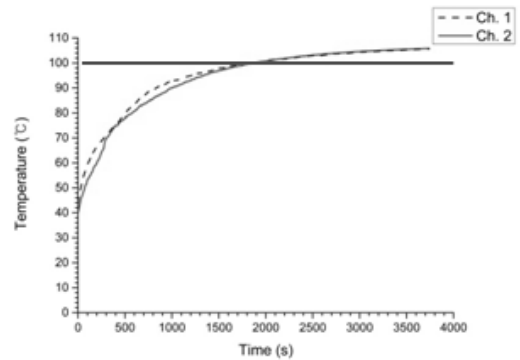


Fig. 2 PFA lined diaphragm valve under thermal cycles



(a)



(b)

Fig. 3 Temperature measurement of a PFA lined diaphragm valve according to ISO 15848-1

여 ISO 15848-1에 따라 각각 20,000회, 60,000회, 100,000회 작동을 진행한 다이어프램 밸브 시료 3개를 준비하였고, 이를 ISO 15848-1에서 제시된 실험 순서에 따라 Fig. 5와 같이 헬륨 누설 측정실험을 진행하였다.

본 실험에서는 ISO 15848-1의 헬륨 누설 측정 방법에 따라 PFA 라이닝 다이어프램 밸브의 누설량을 정량적으로 측정이 가능한 가압진공법을 사용하였다. 시료 밸브를 가압 챔버에 장착한 후 약 3 mbar의 압력으로 헬륨을 가압하여 헬

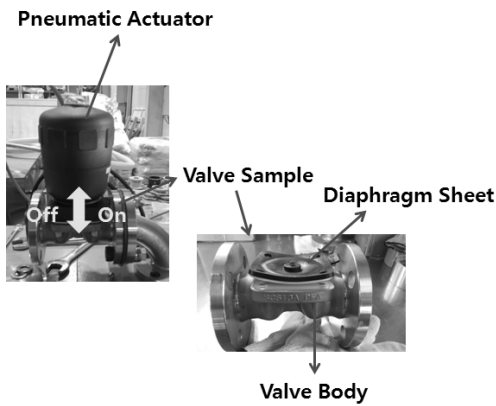


Fig. 4 PFA lined diaphragm valve under mechanical cycles

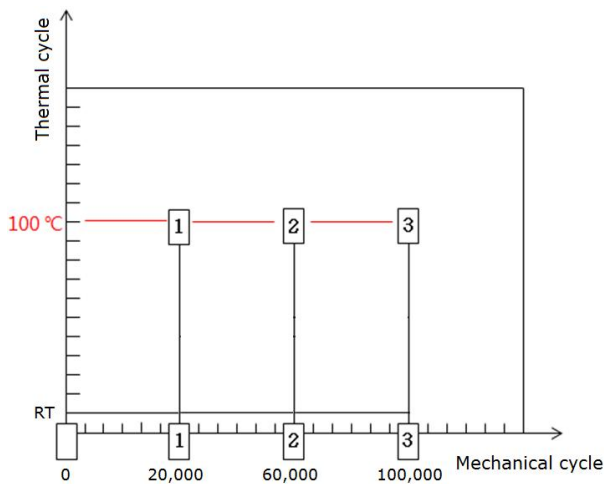


Fig. 5 Test procedure with mechanical and thermal cycles

룸 누설 측정 실험을 진행하였으며, 각각의 경우에 대하여 5 회 실험을 수행하였다.

Table 1와 같이 ISO 규격에서 제시하고 있는 밸브 스템 실링부 (AH class) 및 몸통부 실링에 관한 허용 누설률은 단위 스템 직경당  $1.76 \times 10^{-8}$  [Pa·m<sup>3</sup>/s] 이하이며, 본 연구에 사용된 밸브의 스템 지름을 20 mm로 설정하여 산정하면  $3.52 \times 10^{-7}$  [Pa·m<sup>3</sup>/s]이 누설평가의 기준이 된다.

## 2.2 실험 결과

본 연구에서는 ISO 15848-1에서 제시한 시험방법 중 가압 진공법을 사용한 PFA 라이닝 다이어프램 밸브의 헬륨누설 측정을 수행하였다. 그리고 기계적 및 열적 조건이 고려된 PFA 라이닝 다이어프램 밸브를 대상으로 ISO 규격에 따른 비산배출에 관한 신뢰성을 평가하였다.

Table 2에 공압 액추에이터를 이용하여 기계적 작동을 20,000회, 60,000회, 100,000회 실시한 밸브 시료 3종류에 대하여 상온에서 가압 진공법을 통해 헬륨누설 측정을 수행한 결과를 나타내었다. 헬륨누설 측정은 가압챔버에 헬륨을

Table 1 Leakage from stem and body seals with helium for ISO 15848-1

Measured leak rate (volumic flow) per mm stem diameter [Pa·m <sup>3</sup> /s]
$\leq 1.76 \times 10^{-8}$

Table 2 Measured leak rate of PFA lined diaphragm valves at room temperature

	20 K cycles	60 K cycles	100 K cycles
Before He Spray [Pa·m <sup>3</sup> /s]	$3.38 \times 10^{-8}$	$1.05 \times 10^{-8}$	$1.08 \times 10^{-7}$
After He Spray [Pa·m <sup>3</sup> /s]	$5.75 \times 10^{-8}$	$1.01 \times 10^{-8}$	$9.38 \times 10^{-7}$
Effective Leak Rate [Pa·m <sup>3</sup> /s]	$2.37 \times 10^{-8}$	$4 \times 10^{-10}$	$8.30 \times 10^{-7}$
Guideline for leak rate [Pa·m <sup>3</sup> /s]	Stem diameter, 20mm: $3.52 \times 10^{-7}$		
ISO15848 satisfaction	O	O	X

Table 3 Measured leak rate of PFA lined diaphragm valves at test temperature (100 °C)

	20,000 cycles	60,000 cycles	100,000 cycles
Before He Spray [Pa·m <sup>3</sup> /s]	$9.39 \times 10^{-8}$	$1.37 \times 10^{-8}$	$1.12 \times 10^{-7}$
After He Spray [Pa·m <sup>3</sup> /s]	$9.42 \times 10^{-8}$	$1.33 \times 10^{-8}$	$1.15 \times 10^{-7}$
Effective Leak Rate [Pa·m <sup>3</sup> /s]	$3 \times 10^{-10}$	$4 \times 10^{-10}$	$3 \times 10^{-9}$
Guideline for leak rate [Pa·m <sup>3</sup> /s]	Stem diameter, 20mm: $3.52 \times 10^{-7}$		
ISO15848-1 satisfaction	O	O	O

주입하지 않은 상태에서 누설률을 측정하여 초기 헬륨 누설률을 확인하고, 이후 가압 챔버에 약 3 mbar의 헬륨을 가압하여 밸브 시료의 누설률을 측정하였다. 가압 시 누설률에서 초기 누설률을 뺀 값이 밸브에서 발생한 유효 누설률 (effective leak rate)로 산정하였다. 측정 결과 20,000회, 60,000회 작동된 밸브는 ISO 규격의 밸브 스템 및 몸통 실링부 허용 누설률을 만족하는 것을 확인하였지만, 100,000회 작동된 밸브는 유효 누설률이  $8.3 \times 10^{-7}$  [Pa·m<sup>3</sup>/s]로 ISO 규격의 허용 누설률 기준치  $3.52 \times 10^{-7}$  [Pa·m<sup>3</sup>/s]를 초과하는 결과를 나타내었다. 이것은 PFA 라이닝 다이어프램 밸브의 안전성 및 수명과 밀접한 관계가 있을 것으로 사료된다.

상온에서 헬륨누설 측정 실험을 진행한 밸브 시료를 가열 챔버에서 밸브 온도를 100 °C까지 가열하여 헬륨 누설 측정 실험을 진행하였다. Table 3에 나타난 바와 같이 20,000회, 60,000회, 100,000회 작동된 밸브 모두 ISO 규격의 허용 누설률 기준치를 만족하는 것을 확인하였고, 특히 100,000회 작동된 밸브에서도 상온에서의 헬륨누설 측정결과와 다르게

ISO 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 PFA 라이닝 다이어프램 밸브의 다이어프램 시트 재질이 불소수지로 되어 있기 때문에 온도상승에 따른 재료의 팽창 때문으로 사료된다. 따라서 PFA 라이닝 다이어프램 밸브의 안전성 및 수명을 엄격하게 관리하려면 밸브 온도상승 효과에 관한 것을 반드시 고려해야 한다는 것을 의미한다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 (주)케이투엔에서 생산/판매 중인 PFA 라이닝 다이어프램 밸브를 대상으로 기계적 및 열적 조건을 고려한 헬륨 누설 측정 및 비산배출에 관한 신뢰성을 평가하였고, 이를 통해 국제 규격에 따른 PFA 라이닝 다이어프램 밸브의 헬륨 누설 측정 방법 및 평가 기준을 정립하였다.

- 1) 기계적 작동이 20,000회 60,000회 100,000회 적용된 PFA 라이닝 다이어프램 밸브를 상온에서 헬륨누설 측정 한 결과, 20,000회와 60,000회 작동된 밸브는 ISO 규격의 밸브 스템 및 몸통 실링부 허용 누설률을 만족하는 것을 확인하였지만, 100,000회 작동된 밸브는 유효 누설률이  $8.3 \times 10^{-7}$  [Pa·m<sup>3</sup>/s]로 ISO 규격의 허용 누설률 기준치  $3.52 \times 10^{-7}$  [Pa·m<sup>3</sup>/s]를 초과하는 결과를 나타내었다.
- 2) 상온에서 헬륨누설 측정 실험을 진행한 밸브 시료를 가열 챔버에서 밸브 온도를 100°C까지 가열하여 헬륨누설 측정 한 결과, 20,000회, 60,000회, 100,000회 작동된 밸브 모두 ISO 규격의 허용 누설률 기준치  $3.52 \times 10^{-7}$  [Pa·m<sup>3</sup>/s]를 만족하는 것을 확인하였다.
- 3) 기계적 작동이 100,000회 적용된 PFA 라이닝 다이어프램 밸브의 측정결과를 보면 상온 및 고온에서의 차이가 발생되는데 이는 다이어프램 시트 재질이 불소수지로 되어 있기 때문에 온도상승에 따른 재료의 팽창 때문으로 판단되며, PFA 라이닝 다이어프램 밸브의 안전성 및 수명을 엄격하게 관리하려면 밸브 온도상승 효과에 관한 것을 반드시 고려해야 한다.

### 후 기

본 논문은 교육과학기술부의 출연금으로 수행한 강릉원주대학교 산학협력선도대학(LINC) 육성사업의 연구결과입니

다. 또한 강릉원주대학교 전일제대학원장학금을 지원받아 작성이 되었습니다. 실험 장소 및 장비를 적극적으로 지원해주신 (주)케이투엔 관계자에게 감사드립니다.

### References

- (1) An, J. H., Lee, W. H., Kim, H. J., Kim, D. Y., Kim, C. S., and Lee, J. C., 2015, "Preliminary Study on the Measurement of He leakage from PFA Lined Diaphragm Valves," 2015 KSFM Winter Conference, pp. 325~326.
- (2) Jeong, C. S. and Yang, S. Y., 2013, "A Study on Flow Rate Characteristic and Dynamic Performance on Diaphragm Solenoid Valve," Journal of the Korean Society of Fluid Power and Construction Equipments, Vol. 10, No. 3, pp. 27~33.
- (3) Cheong, S. H., Choi, S. D., and Kim, S. H., 2007, "Development of Eco-Environmental On/Off Diaphragm Valve," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 6, No. 4, pp. 28~35.
- (4) Hayes, W. C., 2012, "Fluoropolymer Lined Ball Valve Design Breakthrough," AICHEM Congress, Germany, June, pp. 18~22.
- (5) Riedl, A., 2007, "Emission Measurements of Industrial Valves according to TA Luft and EN ISO 15848-1," Valve World, pp. 51~55.
- (6) In, S. R., 2007, "Consideration on the Helium Leak Detection in a Large Vacuum Chamber," Journal of the Korean Vacuum Society, Vol. 16, No. 4, pp. 235~243.
- (7) Park, Y. G., Moon, J. W., Ko, M. S., Park, H. S., Chah, S. W., Lee, S. W., Hong, S. C., Kim, H. Y., and Yi, J. H., 2003, "Estimation of the VOC Fugitive Emission Released from Process Units," Hwahak Konghak, Vol. 41, No. 3, pp. 382~388.
- (8) 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.
- (9) 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.