

밀폐된 소형부품의 내부압력 측정장치 개발

홍승수* · 임인태 · 임종연

한국표준과학연구원, 대전 305-340

(2011년 10월 19일 받음, 2011년 11월 25일 수정, 2011년 12월 19일 확정)

밀폐된 소형부품의 내부압력을 측정하는 장치를 개발하였다. 개발된 장치에서 실험한 시료의 내부압력은 43.151 kPa이었고 국제표준화기구에서 권장한 방법에 따라 계산된 확장불확도는 741 Pa이었다. 본 연구결과로 지금까지는 전혀 측정이 불가능했던 밀폐된 시료의 내부압력을 측정할 수 있게 되었다.

주제어 : 진공, 밀폐, 시료, 압력, 불확도

I. 서 론

제품의 부식을 방지하고 유효기간을 길게 한다거나 또는 어떤 필요에 의해서 내부를 진공이나 압력상태를 유지해야 하는 경우는 보편화 되었다. 그러나 내부의 진공도나 압력을 측정하기가 어려워서 밀폐된 범용시료의 내부압력을 측정하는 기술의 개발이 필요하게 되었다. 시료 내부를 진공으로 유지해야 하는 이유는 많지만 수도미터의 경우는 내부의 수분을 제거하므로 동절기에 동파방지에 유리하고 결로현상도 방지할 수 있는 장점이 있다. 또한 내부가 진공상태가 되면 녹이 스는 것을 방지하고 청결한 상태로 유지가 가능하므로 제품의 수명을 연장하는 효과가 있다. 본 논문에서는 수도미터, 소형램프, 단열재, 진공창호용 유리, 의약품 소형병 등이 진공이나 특정압력으로 밀폐되었을 때 이 부품들을 진공용기에 넣고 파손 후 내부압력을 간접측정하는 장치와 측정방법에 대해서 기술하였다. 그리고 측정결과를 국제표준화기구(International Organization for Standardization, ISO)에서 권장하는 방법에 불확도를 평가하는 방법에 대해서도 언급하였다.

II. 원 리

내부압력을 측정하고자 하는 시료(sample)를 Fig. 1에 보인 바와 같이 시험용기 내부에 넣고 진공펌프로 일정한

력까지 배기한 후 진공펌프와 시험용기 사이를 밸브로 격리 시킨다. 용기의 외부에서 내부까지 연결된 피드스루(feedthrough)를 직선방향으로 넣어서 충분한 힘을 가해 시료를 깨뜨리고 그때의 압력을 측정하면 보일의 법칙에 의해 식 (1)을 이용해서 시료 내부의 압력을 계산할 수 있다 [1].

$$P_1(V - V_{so}) + P_s \cdot V_{si} = P_2\{V - (V_{so} - V_{si})\} \quad (1)$$

여기에서 V: (시험용기 부피+진공계이지 부피)-피드스루 부피(cm³)

P₁: 시험용기의 초기압력(Pa)

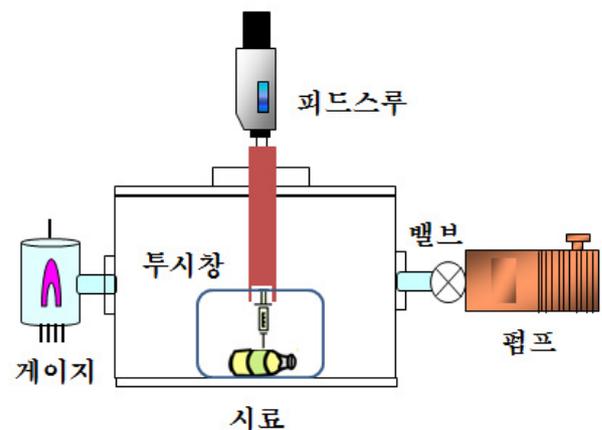


Figure 1. Drawing of inner pressure measurement system.

* [전자우편] sshong@kriss.re.kr

- P_2 : 시료를 깨고 난 후 시험용기의 압력(Pa)
- P_s : 시료의 내부압력(Pa)
- V_{so} : 시료의 외부부피(cm^3)
- V_{si} : 시료의 내부부피(cm^3)

따라서 구하고자 하는 시료의 내부압력은 식 (2)에 의해 계산이 가능하다.

$$P_s = \frac{P_2\{V - (V_{so} - V_{si})\} - P_1(V - V_{so})}{V_{si}} \quad (2)$$

III. 실험 장치 및 결과

1. 실험장치

Fig. 1의 개략도와 Fig. 2의 사진과 같은 시험용 스테인레스 스틸 진공용기의 내부에는 시료를 견고하게 고정할 수 있는 받침대와 고정대가 있으며, 외부에는 진공계이지, 투시창(viewport), 진공밸브, 피드스루 등이 부착되어 있다. 특히 피드스루에는 눈금이 매겨져 있어서 봉(rod)의 진행거리를 알 수 있고 직선운동이 가능하며, 눈금의 위치는 용기에 부착된 투시창을 통해서 볼 수 있다.

시험용기 내부의 초기압력이 낮을수록 내부 진공도 측정 한계와 정밀도가 좋아진다. 진공펌프는 초기압력을 측정하고자 하는 시료의 내부압력 예상치의 1/100 이하까지 배기가 가능한 것이 좋으며, 시료의 내부압력을 전혀 예상하기

가 어려울 경우에는 적어도 10^{-3} Pa 이하로 배기할 수 있는 진공펌프를 사용하는 것이 좋다. 본 실험에 사용된 배기장치는 고진공용 터보분자펌프(turbomolecular pump)와 저진공용 스크롤펌프의 조합으로 구성되었다. 여기에서 원하는 도달압력을 유지하기 위해서 진공용기는 사전에 굽기(bake-out)를 충분히 하여 탈기체를 줄이고 측정할 시편의 외부표면은 깨끗하게 세척하여 오염물질을 제거해야 한다.

시험용기에 부착된 진공계이지의 불확도(uncertainty)는 내부압력의 정확한 측정에 직접적인 영향을 미친다. 진공계이지는 용기의 초기압력과 시료를 파괴한 후 2차압력을 측정하는데 적합한 사용범위를 가진 것이어야 하며, 진공계이지들은 국가표준기로부터 사전에 교정(calibration)되어서 소급성(traceability)이 유지되어야 한다. 시료는 한번 파손하면 재사용이 불가능하므로 2차압력을 예상하기 어려울 경우에는 측정범위가 다른 여러 개의 진공계이지를 부착해야 한다. 본 실험의 저진공 측정에는 기체 종류에 따라 감도변화가 없는 용량형 격막진공계이지(capacitance diaphragm gauge)를 사용했으며, 고진공 측정에는 구조가 견고한 냉음극 이온계이지를 사용하였다.

2. 실험방법

시료가 준비되면 파손 때 움직이지 않도록 시험용기 내부에 잘 고정하고 아래와 같은 단계를 거쳐서 시험한다.

(a) 시험 전 시료의 외부부피 및 내부부피를 구한다. 시료는 구조와 형상이 다양할 것이므로 시료에 따라 적당한 방법으로 구한다. 칫수를 측정하거나 부피계(volumetric meter)를 이용하여 직접 구하기도 하지만 의뢰자가 제공한 데이터를 사용하기도 한다.

(b) 시험에 필요한 장치를 구성한 후 리크 여부를 점검하고 장치내부의 부피를 구한다.

(c) 시험 전 시료를 24시간 이상 실험실에 보관하여 온도 차에 따른 측정오차를 없앤다.

(d) 시료를 시험용 진공용기 안에 넣고 일정압력까지 배기시킨다.

(e) 진공펌프와 연결된 밸브를 잠근 후 압력이 안정되면 이때의 압력(1차압력)을 기록한다. 이때 리크에 의한 급격한 압력의 상승이 있는지 관찰해야 한다.

(f) 직선운동이 가능한 피드스루를 이용하여 시험용기내의 시료를 깨뜨린 후 변화된 압력이 안정되면 이때의 압력

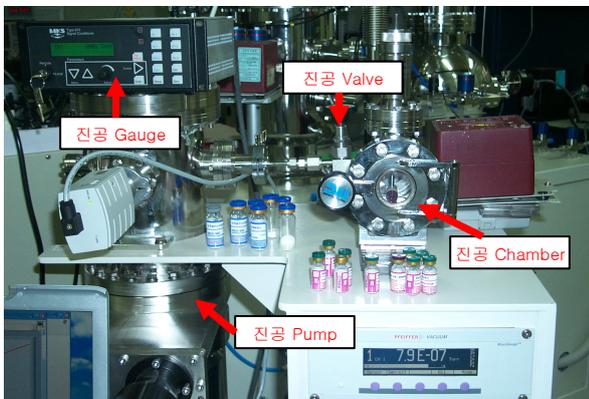


Figure 2. Photo of inner pressure measurement system.

(2차압력)을 기록한다. 이때 진공용기에 부착된 투시창을 통해 시료의 파손여부를 관찰해야 한다.

(g) 본 연구에 사용된 진공용기의 부피는 시료 부피의 약 32.8배이므로 시료를 파손했을 때 1차압력에 미치는 영향이 미미하지만 시료의 부피가 커지면 측정결과에 영향을 크게 미칠 수 있으므로 충분한 부피의 진공용기를 사용해야 한다.

IV. 실험결과 및 불확도 평가

1. 실험결과

Table 1은 소형 주사액 용기의 내부압력을 알기 위해서 측정된 값들을 정리한 것이다. 진공용기 및 시료의 내부 부피는 부피계를 이용해서 시료에 물을 주입하는 방법으로 각각 3회 측정하여 계산된 값이고 외부 부피는 칫수를 측정해서 계산하였다. 용기의 초기압력과 시료를 파손한 후의 2차압력은 실험에 의해 얻어진 값이다. 식 (2)를 이용해서 본 실험 결과로 얻어진 시료의 내부압력(P_s)을 계산하면

Table 1. Summary of measurement results for inner pressure calculation.

구분	측정값(1)	측정값(2)	측정값(3)	평균
진공용기 부피(cm ³)	540.69	545.47	554.72	546.960
시료 외부부피(cm ³)	16.87	16.64	16.75	16.753
시료 내부부피(cm ³)	11.89	12.05	11.93	11.957
진공용기의 1차압력(Pa)	-	-	-	0.5599
시료 파손 후 2차압력(Pa)	-	-	-	958.2842

Table 2. Summary of uncertainty calculation of each parameter.

입력량 X_i	추정값 x_i	표준불확도 $u(x_i)$	확률 분포	감도계수 c_i	불확도 기여량	자유도 v_i
V	546,960 cm ³	4,1181 cm ³	정규	80,10	329,849 Pa	2
V_{so}	16,753 cm ³	0,0664 cm ³	정규	-80,10	-5,318 Pa	2
V_{si}	11,957 cm ³	0,0481 cm ³	정규	-3513,6	-169,004 Pa	2
P_1	0,5599 Pa	0,0139 Pa	정규	-43,84	-0,609 Pa	∞
P_2	958,2842 Pa	0,2245 Pa	정규	44,84	10,067 Pa	∞
합성표준불확도(combined uncertainty)					370,801 Pa	∞

43151.32 Pa이 된다.

2. 불확도 평가

국제표준화기구(ISO)에서 권장한대로 측정결과의 불확도를 계산하기 위해서는 먼저 측정결과를 계산하는데 이용된 수학적 모델이 있어야 하는데 본 연구에서는 식 (2)를 이용하면 된다 [2,3]. 실험결과에 의해 계산된 합성불확도 $u_c(p_s)$ 는 식 (2)를 모델로 하여 측정에 사용한 계이지의 불확도 등을 고려한 감도계수와 표준불확도로부터 계산할 수 있다 [4,5]. 각각 입력량에 대한 표준불확도와 감도계수를 이용해서 불확도 기여량을 계산하는 과정은 참고문헌에 제시하였으므로 여기에서는 생략하고 각각의 표준불확도 요소들이 미치는 불확도 기여량을 식 (3)으로부터 계산해서 정리한 결과는 Table 2와 같다.

$$u_c(P_s)^2 = \left[\sum_{i=1}^N c_i u(x_i) \right]^2 \tag{3}$$

여기에서 $u(x_i)$ 는 각 입력량의 표준불확도(standard uncertainty)이고 (c_i)는 감도계수(sensitivity coefficient)이다.

ISO 규정에 의하면 모든 측정결과에는 확장불확도(expanded uncertainty, U)를 포함하여 제시하도록 하고 있으며, 본 실험에서 측정된 시료의 확장불확도는 합성표준 불확도와 포함인자(coverage factor, k)를 곱하여 식 (4)와 같이 계산되었다.

$$\begin{aligned} U &= k \times u_c \\ &= 2 \times 370,801 \text{ Pa} \\ &= 741,002 \text{ Pa} \end{aligned} \tag{4}$$

여기에서 신뢰수준(confidence level)은 95%, $k = 2$ 로 추정된 것이다.

결론적으로 본 실험에 의해 측정되어 계산된 시료의 내부압력(P_s)는 $P_s = 43.151 \text{ kPa} \pm 741 \text{ Pa}$ 이었다.

V. 결 론

진공이나 특정압력으로 밀폐된 시료의 내부압력을 측정하는 장치를 개발하였으며, 밀폐된 시료를 진공용기 내부에서 깨뜨려 내부압력을 계산하였다. 실험에 사용된 시료의 내부압력 측정결과는 43.151 kPa이었고 국제표준화기구에서 권장한 방법에 따라 계산된 확장불확도는 741 Pa이었다. 이 연구결과는 크기나 구조가 다른 다양한 소형 시료를 진공용기에 넣고 내부압력을 측정하는데 유용하게 사용

될 것으로 확신한다.

참고문헌

- [1] I. T. Lim, S. S. Hong, Y. H. Shin, KRISS test procedure, T-01-048-2005, 1 (2005).
- [2] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, ISO, 1 (1993).
- [3] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, KRISS, 1 (1993).
- [4] S. S. Hong, J. Y. Lim, and Y. H. Shin. J. Korean Vacuum Soc. **20**, 313 (2011).
- [5] S. S. Hong, I. T. Lim, Y. H. Shin, and K. H. Chung. J. Korean Vacuum Soc. **15**, 1 (2006).

Development of Inner Pressure Measurement System for Hermetic Sealed Small Components

S. S. Hong*, I. T. Lim, and J. Y. Lim

Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon 305-340

(Received October 19, 2011, Revised November 25, 2011, Accepted December 19, 2011)

The measurement device of internal pressures of small components sealed hermetically was developed. The internal pressure of a sample measured with this device was 43.151 kPa, and the expanded uncertainty ($k=2$) was 741 Pa. The resultant measurement ability of internal pressures in small vacuum components, which had been almost impossible previously, shows the possibility of internal vacuum detection of hermetically sealed parts.

Keywords : Vacuum, Hermetic seal, Sample, Pressure, Uncertainty

* [E-mail] sshong@kriss.re.kr