

# 정밀 차압계 정확도 평가 기술 Technology for Evaluation of Precise Differential Pressure Gauge

\*#우삼용, 최인목, 송한욱

\*\*S. Y. Woo(sywoo@kriss.re.kr), I.M. Choi, H.W.Song  
한국표준과학연구원 기반표준본부 역학센터

Key words : Differential pressure Gauge, Evaluation, Calibration, Twin pressure balance

## 1. 서론

차압의 정밀한 측정은 유속 및 유량에서 매우 중요한 요소이다. 많은 압력변환기가 이 목적으로 산업체에서 광범위하게 사용되고 있으며 이에 따라 이들에 대한 교정 요구도 증대되고 있다. 최근 보다 정확한 압력변환기가 개발되면서 더 높은 수준의 차압 표준기 개발이 필요하게 되었다. 오늘날 1 Pa 에서 10 kPa 근처의 최대측정범위를 갖는 차압변환기가 상당량 사용되고 있으며 정확도는 10 kPa 에서 0.01 %에 달하고 있다. 보통 이들은 참조압력, 즉, 저압측 압력을 대기압 근처로 하고 있다. 오늘날 이들의 정확한 교정을 위해 다양한 차압 표준기가 개발되고 있다[1].

차압계 교정 및 평가에 주로 사용되는 표준기는 액주형 압력계와 분동식 압력계로 대별할 수 있다. 액주형 차압 표준기는 물, 오일, 수은 등을 압력전달매질로 하며 압력차에 따른 액주의 높이를 정확히 읽기 위해 레이저 혹은 초음파를 사용하며 미국, 영국, 이탈리아, 인도 등에서 사용되고 있다. 분동식 압력계를 이용한 차압 표준기는 두 개의 분동식 압력계에서 발생하는 압력 차이를 이용한 것으로 일본, 뉴질랜드 등에서 사용되고 있다. 기본적으로 분동식 압력계는 단위면적에 작용하는 힘을 직접 측정할 수 있는 장비로 원통형의 피스톤과 실린더 및 분동세트로 구성된다. 측정 시에는 피스톤 아래에 원하는 압력이 가해져서 위쪽 방향으로 힘을 발생하며 피스톤 위에는 이에 상응하는 힘을 발생시키기 위한 분동이 없혀져서 중력에 의해 아래 방향 힘을 발생하게 된다. 이 두 힘이 평형을 이루게 되면 분동에 의한 아래방향 힘을 유효단면적(근사적으로 피스톤과 실린더 단면적의 평균값)으로 나누면 측정압력이 된다. 이때 피스톤은 항상 일정한 높이로 부상한 후 힘의 평형을 이룬 다음에야 측정이 가능하므로 어떤 압력 이하의 측정을 할 수 없다. 보통 이 압력은 5 kPa 정도이다. 미세한 차압을 측정하기 위해서는 두 개의 분동식 압력계를 이용한 쌍분동식 압력계가 많이 사용된다. 한국표준과학연구원 (KRISS)은 최근 쌍분동식 압력계 원리를 이용한 새로운 차압 표준기를 개발하게 되었으며 본 논문에서는 이에 대한 기술적 개발 사항과 이를 이용한 차압계 평가에 적용한 사례 및 기술에 대해 소개하고자 한다.

## 2. 측정 원리

일반적으로 분동식 압력계에 의해 발생하는 피스톤 아래의 압력  $P_i$  는 절대압 모드에서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_i = \frac{(T + M_i)g}{A_e} + P_{vac}$$

여기서 T 는 피스톤과 피스톤 캡으로 구성된 최소 질량이고  $M_i$  는 피스톤 위에 가해진 분동의 질량값으로 압력 크기에 따라 다양한 값을 갖는다.  $A_e$  는 근사적으로 피스톤과 실린더 단면적의 평균값으로 유효단면적으로 부른다. g 는 측정실의 중력가속도 값이며  $P_{vac}$  은 피스톤 주변의 압력으로 보통 0.1 Pa 이하로 그 크기는 0 에 가깝다. 이때 분동

에 작용하는 부력은 공기가 희박하므로 무시할 수 있다.

동일한 체적을 갖는 두 개의 분동식 압력계를 이용하여 동일한 압력을 발생시킨 후 한 쪽(점자 H)에 질량  $\Delta m$  을 추가하면 발생하는 차압은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\Delta p = \frac{\Delta m \cdot g}{A_{eH}(t_H, p_H)}$$

여기서  $t_H, p_H$  는 피스톤-실린더의 온도와 피스톤 아래에 작용하는 압력이다.

다양한 차압을 발생시키기 위해서는 두 개의 분동식 압력계에 사용되는 진공용기 안의 진공을 파괴하지 않고도 다양한 분동을 피스톤 위의 정확한 위치에 올리고 내리는 정밀한 기계장치가 절대적으로 필요하다. 더구나 피스톤은 보통 20-50 rpm 으로 회전하고 있으므로 회전하는 피스톤 캡 위에서 분동을 올리고 내려야 하며 측정 시 다른 분동과 접촉하지 않아야 한다. 만일 진공용기를 열고 분동들을 교환한다면 진공을 만들기 위해 다시 긴 시간을 배기하여야 되고 또한 동일한 진공압으로 돌아가지 못할 가능성이 매우 높아 측정 불확도가 커지게 된다. 더구나 진공용기 내부를 자주 대기 중에 노출 시킬 경우 피스톤 실린더 틈사이로 먼지가 끼여 피스톤이 잘 회전하지 않거나 분동이 오염될 우려가 있다.

## 3. 장치 제작

그림 1 은 1 Pa 에서 31 kPa 까지 차압 발생이 가능한 분동조합을 갖는 분동인가장치를 보여주고 있다. 사용된 분동식 압력계 몸체는 미국 DHI 사에서 제작한 PG7601 이고 피스톤-실린더의 직경은 약 35 mm 이다.

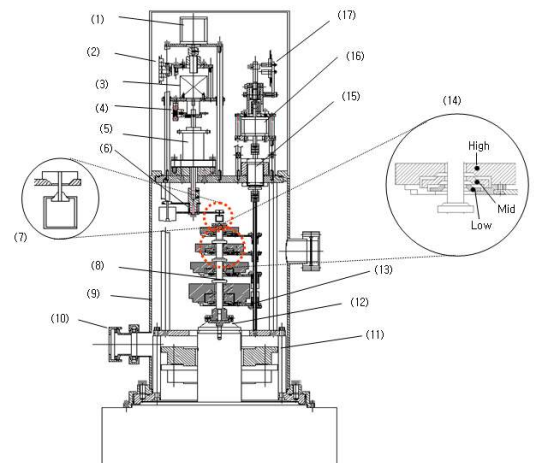


Fig. 1 Structure of KRISS Differential Pressure Standard.

피스톤 장치(12) 위에는 중심축(8)이 연결되어 있다. 장치 내부에는 5 종류의 분동 세트를 독립적으로 올릴 수 있도록 6 개의 모터와 4 개의 분동 리프터(13), 1 개의 원형 테이블이 준비되어 있다. 중심 축에는 분동이 안전하게 얹힐 수 있도록 분동자리가 축 상에 4 곳에 걸쳐 가공되어 있다. 본 장치에 사용된 피스톤-실린더 장치는 직경이 약 35 mm 이며 단면적은 약 980 mm<sup>2</sup> 이다. 따라서 1 kg 의 분동은 약 10 kPa 의 압력에 대응하며 1 g 은 약 10 Pa 의 압력에 대응한다.

#### 4. 실험

그림 2 는 상용되고 있는 정밀 차압계를 평가한 하나의 예이다. 10 kPa 측정 범위를 갖고 있는 정밀한 게이지이다. 0.7 Pa 이하의 히스테리시스 특성을 갖고 있는 것을 알 수 있다. 이는 매우 작은 값이므로 상당히 우수한 게이지임을 알 수 있다. 또한 보정값 즉 (기준값-지시값) 자체도 1 Pa 이하로 초 정밀 급이다.

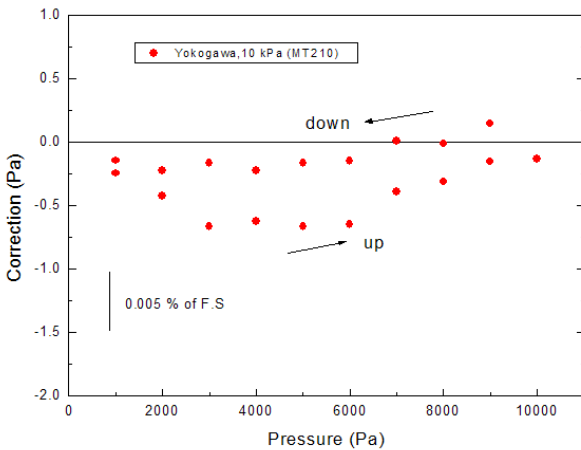


Fig. 2 Calibration results of 10 kPa differential pressure gauge.

#### 5. 결론

두 개의 분동식 압력계를 이용한 차압기준기를 개발하였다. 두 분동식 압력계 중 하나는 기준 압력발생용으로 사용하고 다른 하나는 차압발생용으로 사용한다. 기준압력의 변동을 막기 위해 피스톤 주위를 진공으로 유지하였으며 차압의 발생을 위하여 진공 중에서 분동을 자동으로 교환할 수 있는 장치를 개발하였다. 개발한 기준기는 측정 범위가 1 Pa 에서 31 kPa 로 매우 넓고 불확도 또한 세계적 수준이다 ( $k=1, 0.11 \text{ Pa} + 11.3 \times 10^{-6} p$ ).

#### 참고문헌

1. Miller A P et al, Metrologia 42 187-192, 2005
2. Woo SY et al, Metrologia 42 193-196, 2005
3. Woo SY et al, J. Metrol. Soc. India 27 147-153, 2006