

스테인레스 스틸 고진공용기에 부착된 열음극 전리진공게이지의 주변 온도변화에 따른 압력요동

홍승수† · 임인태 · 신용현 · 정광화 · Ichiro Arakawa*

한국표준과학연구원 진공기술센터, Department of Physics*, Gakushuin University, Japan
(2004년 3월 8일 접수)

Pressure fluctuations of the hot cathode ionization gauges at the stainless steel high vacuum chamber according to room temperature variations

S. S. Hong†, I. T. Lim, Y. H. Shin, K. H. Chung, Ichiro Arakawa*

Center for Vacuum Technology, Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon, Korea
Department of Physics*, Gakushuin University, Toshima, Tokyo, Japan
(Received March 8, 2004)

요 약

스테인레스 스틸로 가공된 진공용기에 제조회사와 사양이 각각 다른 세 개의 열음극 전리진공게이지를 부착하고 실험실 온도변화에 따른 게이지들의 압력요동 특성을 조사하였다. 상온 근방의 최소 20 °C와 최대 26 °C에서의 압력 편차는 각각 IG1은 5.0 %, IG2는 5.3 %, 그리고 IG3는 10.3 %이었다. 그러나 온도 21.5 °C에서 22.5 °C 구간에서의 압력변화는 모두 게이지들의 불확도 보다 작고 안정한 성능을 보였다. 본 연구결과 상온 고진공에서 열음극 전리진공게이지의 압력변화는 게이지 자체의 특성 때문이 아니고 실험실 온도 때문에 변하는 압력변화에 기인한 것임을 알 수 있었다.

주제어 : 열음극 전리 진공게이지, 온도 의존성, 스테인레스 스틸.

Abstract

Three hot cathode ionization gauges (HCIG) were used to study their responses of pressure measurements at the stainless steel high vacuum (HV) chamber around room temperatures. The pressure variations of HV measured by the three HCIGs between 20 °C and 26 °C were 5.0 %, 5.3 %, and 10.3 %, respectively. However, pressure differences between 21.5 °C and 22.5 °C were lower than the gauges uncertainty limits. The pressure variations of the HCIGs at the HV chamber was not directly affected by gauge characteristics, but pressure changes due to room temperatures.

Key Words : Hot cathode ionization gauge, Temperature dependence, Stainless steel.

1. 서 론

열음극 전리진공게이지 (hot cathode ionization

gauge, HCIG)는 진공도 측정 특히 고진공에서부터 초고진공 영역까지 광범위하게 사용되고 있다 [1-3]. HCIG는 구조상 열전자 방출을 위하여 필라멘트를

고온으로 가열하기도 하고 그리드에 일정한 바이어스 전압을 인가해야 하므로 게이지 자체에서 생기는 발열과 주변온도 변화에 따라 압력측정 편차가 큰 것으로 알려져 있다. 그러나 대부분 제조회사에서 제품의 사양에 온도변화에 대한 오차나 드리프트 등을 표시하지 않기 때문에 그 특성을 정확하게 알 수 없으므로 막연하게 추측만 하고 있는 실정이다. 다만 일본의 Kokubun과 Hirata는 HCIG의 온도에 따른 이온수집기 (ion collector) 전류에 대해 측정하였으며 [4], 독일의 Jousten은 진공계이지를 교정할 때 온도보정 방법에 대해 연구하였다 [5].

본 논문에서는 고진공 용기에 부착된 제조회사와 구조가 각각 다른 세 개의 HCIG의 주변온도 변화에 따른 지시압력을 컴퓨터로 연속적으로 측정하여 비교하였다. 고진공용기에 부착된 세 개의 게이지는 각각 IG₁, IG₂, 그리고 IG₃로 표시하여 구분하였으며, 이들은 측정범위와 기타 사양들이 대체로 비슷하고 정확도가 지시압력의 5%에서 15% 사이로 높은 편에 속하는 게이지들이다. 측정결과는 Origin 소프트웨어의 polynomial fit 방법을 이용하여 분석하였으며, 실험결과 지시압력 변화는 게이지 자체의 특성이라기보다는 주변 온도변화 때문에 생기는 스테인레스 스틸 진공용기 자체의 압력변화가 이유인 것으로 추측되었다.

2. 실험장치 및 측정방법

그림 1의 실험장치는 진공용기 (vacuum chamber), 배기장치 (pumping system), 세 개의 전리 진공계이지, 온도계 (resistance temperature device, RTD), 그리고 굽기 (bake-out) 용 히터로 구성되어 있다. 원통형으로 된 진공용기는 재질이 스테인레스 스틸

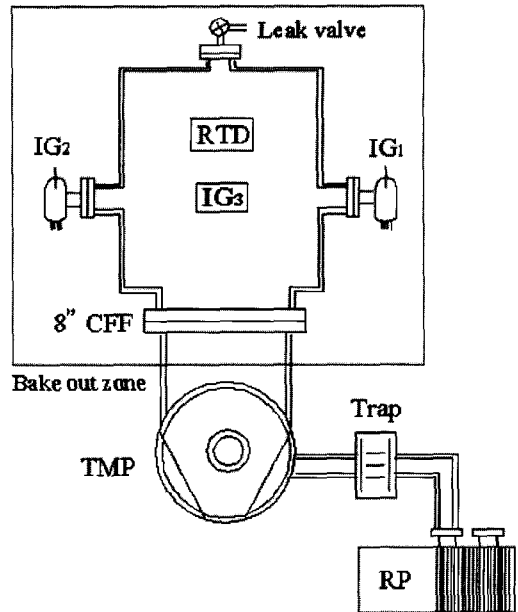


Fig. 1. Schematic diagram of the HV experimental system to measure pressures and sensitivities of three HCIGs around room temperature. Key abbreviations, IG:hot cathode ionization gauge; CFF : con-flat flange; TMP : turbomolecular pump ; RP : rotary pump ; RTD : resistance temperature device.

304이고 지름과 높이가 각각 305 mm와 254 mm이다. 배기장치는 질소의 배기속도가 500 L/s인 고진공용 터보분자펌프와 저진공용 로터리펌프로 구성되었으며, 용기를 굽는데 쓰이는 히터는 온도를 300 °C까지 올릴 수 있다. 장치의 조립이 끝난 뒤 용기를 최대 도달진공도 (ultimate pressure)에 도달하도록 충분히 배기한 후 히터의 온도를 최대 250 °C까지 서서히 올렸다가 다시 상온까지 내리

Table 1. Detailed specifications of three HCIGs.

Gauge id.	Pressure range (Pa)	Envelope	Filament material	I _e (mA)	Operating temperature (°C)	Uncertainty (%)
IG ₁	1×10 ⁻⁹ to 7×10 ⁻²	Metal	W	4	0 to 40	5
IG ₂	2×10 ⁻¹⁰ to 1×10 ⁻²	Metal	W	1.6	max. 80	10
IG ₃	5×10 ⁻¹¹ to 1×10 ⁻²	Metal	Ir/Y ₂ O ₃	1	10 to 40	15

는 굽기 과정을 200 시간동안 수행하였으며, 굽기가 끝나고 용기가 충분히 식었을 때 진공도는 10^7 Pa 정도이었다. 표 1은 실험에 사용된 HCIG의 사양을 요약한 것으로 이들은 제조회사, 측정범위, 필라멘트 재질, 열전자 전류, 그리고 불확도가 약간씩 다른 제품이다. 외관은 모두 금속으로 제작되어 있고 필라멘트 재료는 IG₁과 IG₂는 텅스텐, IG₃는 Ir/Y₂O₃이다. 표 1에서 I_c는 그리드에 흐르는 전자전류로 IG₁은 4 mA, IG₂는 1.6 mA, IG₃는 1 mA 이고 센서의 탈 기체는 모두 electron bombardment (EB) 방법을 사용한다. 실험은 히터를 켜거나 끄면서 용기 주변 온도를 상온 근방에서 변화시키면서 일정한 시간 간격으로 게이지들의 지시압력과 주변온도를 컴퓨터로 읽었다.

3. 결과 및 고찰

진공용기의 굽기가 끝난 뒤 오랜 시간 동안 충분히 배기하여 압력이 최대 도달진공도에 도달했다고 판단된 시점에서 IG₁, IG₂, IG₃ 지시압력과 용기 온도를 컴퓨터로 측정하기 시작하였다. 여기에서 압력이 최대 도달진공도에 도달하기 전에 측정을 시작하면 용기의 압력변화 요인 즉, 배기에 의한 것인지 혹은 온도변화 때문인지 구분하기가 어렵게 된다. 측정에 들어가기 전에 이온게이지들

은 탈가스 (degas)하여 가능하면 정확한 압력을 측정하도록 하였다. 그림 2는 IG₁, IG₂, IG₃의 지시압력을 경과시간에 따라 측정하여 그린 것으로 X 축은 경과시간을 분으로 표시하였고 두개의 Y 축은 각각 압력과 온도를 나타낸 것이며, X축을 세단계로 구분 한 것은 압력 및 온도변화를 보다 자세하게 관찰할 수 있기 때문이다. 압력과 온도 측정점을 연결한 그래프의 경향을 보면 첫 단계의 중간 200분 정도의 시간까지는 이온게이지들의 압력이 일정하게 감소하고 있는데 이 이유는 탈가스 때 방출된 기체가 서서히 배기되고 있는 과정에 있었으며, 이 기체가 완전하게 배기되지 않았기 때문으로 보인다. 탈가스 된 기체가 완전히 배기된 뒤로는 그림 2 하단의 첫 번째 단계의 200분에서 800분사이의 그래프에서 보듯이 압력이 온도변화와 같은 경향으로 변하는 것을 알 수 있었으며, 이것은 게이지 압력이 실험실 온도에 따라 변하고 있음을 의미한다. 두 번째 단계에서는 실험실의 향온기를 켜서 온도변화가 0.5 °C 이내가 되도록 한 경우의 그래프로서 IG₁과 IG₃는 압력요동이 작아지는 경향을 보였으나 IG₂는 서서히 증가하다가 갑자기 떨어지는 추세를 보였는데 그 이유는 명확하지 않으나 대체로 이들 세 개의 게이지 압력변화폭도 온도변화폭과 비슷함을 알 수 있었다. 세 번째 단계는 향온기를 끄고 가능하면 실험실의 온도 변화

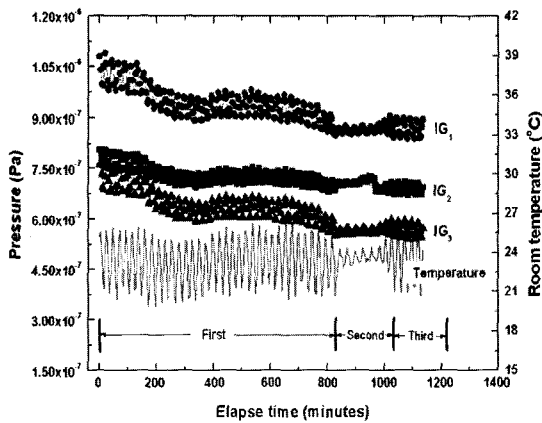


Fig. 2. Pressure readings and room temperature variations of three different HCIGs according to the elapsed time at the stainless steel HV chamber.

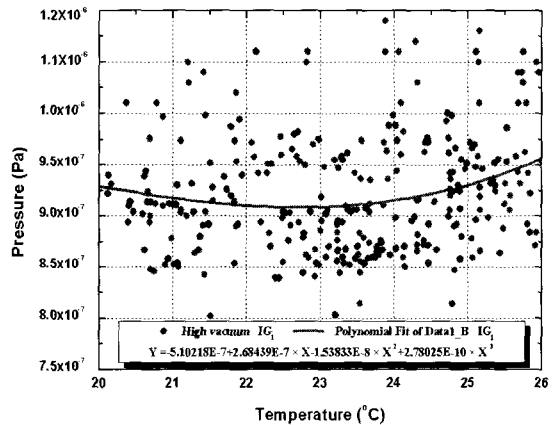


Fig. 3. Pressures versus room temperatures for IG₁. The solid line is drawn by using polynomial fit, and the standard deviation of the fit is 5.60×10^{-8} .

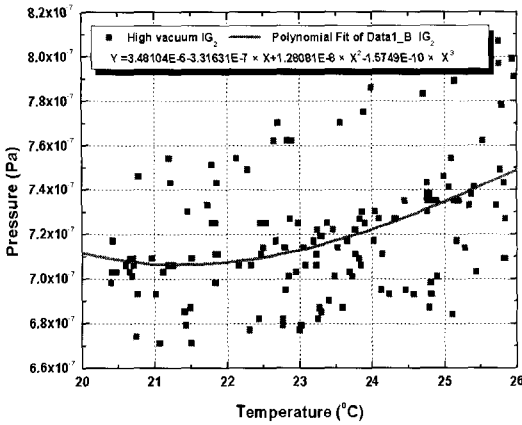


Fig. 4. Pressures versus room temperatures for IG₂. The solid line is drawn by using polynomial fit, and the standard deviation of the fit is 2.57×10^{-8} .

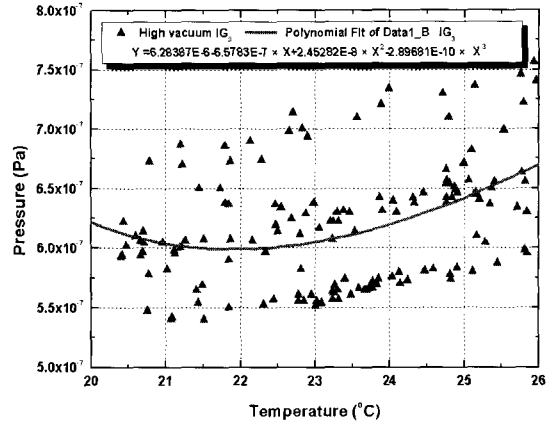


Fig. 5. Pressures versus room temperatures for IG₃. The solid line is drawn by using polynomial fit, and the standard deviation of the fit is 4.81×10^{-8} .

폭이 작도록 한 상태에서 측정된 것으로 이 결과에서도 보듯이 온도와 압력은 서로 직접 연관성이 있음을 알 수 있었다. 열음극 전리진공계이지 IG₁, IG₂, 그리고 IG₃의 온도와 압력 변화량을 더 자세하게 보기 위하여 온도를 X 축으로 하고 압력을 Y 축으로 한 그래프를 그림 3, 그림 4, 그림 5와 같이 다시 그렸으며, 이들 데이터의 계산은 Origin 프로그램을 이용하였다. 그림 3은 IG₁ 측정결과를 온도 20 °C부터 26 °C 구간에서 압력의 분산을 그린 것으로 모든 측정점이 7.5×10^{-7} Pa에서 1.2×10^{-6} Pa 구간에 있으나 특이한 경향을 보이지는 않았으며, 23 °C를 기준으로 높거나 낮은 온도에서 압력을 높게 지지하였다. 그림 4는 IG₂ 측정결과를 온도 20 °C부터 26 °C 구간에서의 압력의 분산을 그린 것으로 모든 측정점이 6.6×10^{-7} Pa에서 8.2×10^{-7} Pa 구간에 있으며 온도가 올라갈수록 압력이 증가

하는 경향을 보였다. 그림 5는 IG₃ 측정결과를 온도 20 °C부터 26 °C 구간에서의 압력의 분산을 그린 것으로 모든 측정점이 5.5×10^{-7} Pa에서 7.5×10^{-7} Pa 구간에 있으며 이 게이지도 실험실 온도가 올라갈수록 압력이 증가하는 경향을 보였다. Table 2는 X를 온도로 하고 polynomial fit하여 구한 온도에 따른 압력계산식과 그 값들의 표준편차를 정리한 것이다. 그림 6은 polynomial fit 식을 이용하여 그린 게이지 IG₁, IG₂, 그리고 IG₃의 온도와 압력 그래프이다. 이 그림에서 모든 게이지의 압력이 온도에 따라 변하는 경향을 뚜렷하게 볼 수 있으며, IG₁, IG₂, IG₃의 최소 압력은 각각 22.5 °C, 21.5 °C, 22.0 °C로 모두 21.5 °C에서 22.5 °C 사이에 있었으며 이들 구간에서의 압력변화는 다른 구간에 비해 크지 않았다. 또한 전체 온도 구간에서 최소압력과 최대압력 차이는 IG₁은 5.0 %, IG₂는 5.3 %, 그리

Table 2. Polynomial fit equations for pressure calculation and their standard deviations.

Gauge id.	Polynomial fit에 의한 압력 계산식 X : 온도(°C), Y : 압력(Pa)	Y값 표준편차 (Pa)
IG ₁	$Y = -5.10 \times 10^{-7} + 2.68 \times 10^{-7} \times X - 1.53 \times 10^{-8} \times X^2 + 2.78 \times 10^{-10} \times X^3$	5.60×10^{-8}
IG ₂	$Y = 3.48 \times 10^{-6} - 3.31 \times 10^{-7} \times X + 1.28 \times 10^{-6} \times X^2 - 1.57 \times 10^{-10} \times X^3$	2.57×10^{-8}
IG ₃	$Y = 6.28 \times 10^{-6} - 6.57 \times 10^{-7} \times X + 2.45 \times 10^{-8} \times X^2 - 2.89 \times 10^{-10} \times X^3$	4.81×10^{-8}

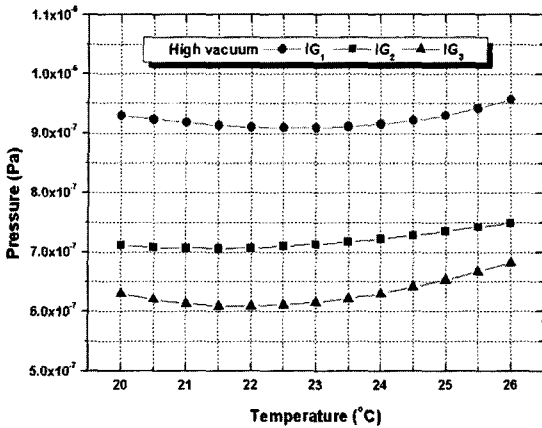


Fig. 6. Pressures versus room temperatures for three HCIGs in HV for IG₁, IG₂, and IG₃. Pressures were calculated by polynomial fit equations. The pressure variations for IG₁, IG₂, and IG₃ between 20 °C and 26 °C were 5.0 %, 5.3 %, and 10.3 %, respectively.

고 IG₃는 10.3 %로 IG₃가 주변 온도변화에 가장 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 그러나 온도 21.5 °C에서 22.5 °C 구간에서의 최소와 최대 압력 변화는 세 개의 게이지 모두 1 % 이하로 매우 작았다. 약간씩 서로 다른 온도 대 압력 곡선의 원인을 규명할 수는 없었지만, 제조회사 사양에 의하면 IG₃ 게이지의 필라멘트 재료가 Ir/Y₂O₃로 다른 게이지의 텅스텐과 다르고 그리드에 흐르는 전자전류가 1 mA로 다른 게이지에 비해 작다는 것도 하나의 원인이 될 수 있음을 짐작할 수 있었다.

4. 결 론

스테인레스 스틸 고진공 용기에 제조회사와 사양이 각각 다른 세 개의 열음극 전리진공게이지

IG₁, IG₂, IG₃를 부착하고 실험실 온도변화에 따른 게이지들의 압력요동 특성을 조사하였다. 상온 근방의 최소 20 °C와 최대 26 °C에서의 압력 차이가 IG₁은 5.0 %, IG₂는 5.3 %, 그리고 IG₃는 10.3 %로 주변 온도변화에 민감하게 반응하는 것을 알 수 있었다. 그러나 온도 대 압력 측정점 그래프의 경향이 모두 비슷한 것으로 보아서 압력변화가 게이지 자체의 특성이라기보다는 온도가 증가하면서 진공용기의 기체 탈착양이 증가되어 압력이 올라가기 때문인 것으로 추측된다. 그러나 온도 21.5 °C에서 22.5 °C 구간에서의 압력변화는 모두 1 % 이하로 게이지들의 불확도를 고려할 때 무시할 정도로 작았는데, 이 이유는 모든 제조회사에서 게이지 온도에 따른 요동이 약 22 °C 구간에서 가장 작도록 온도보상회로가 설계되었기 때문으로 판단된다. 따라서 스테인레스 스틸로 가공된 고진공 용기를 이용하여 고진공 즉 10⁻⁷ Pa 영역에서 열음극 전리진공게이지를 이용하여 불확도가 최대 10 % 이내로 압력을 측정하고자 할 때는 실험실 온도가 상온 근방의 20 °C에서 26 °C로 유지되어야 함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] K. H. Chung, S. S. Hong and Y. H. Shin, *Metrologia* **36**, 675 (2001).
- [2] 배석희, 인상열, 정광화, 이영백, 신용현, 진공공학, 한국경제신문, 283 (2000).
- [3] Patrick J Abbott and Patrick Looney, *J. Vac. Sci. Technol. A* **12**, 2911 (1994).
- [4] K Kokubun and M Hirata, *Applied Surface Science* **169**, 763 (2001).
- [5] K Jousten, *Vacuum* **49**, 81 (1997).