

초고진공용 건조질소 통풍장치

이성수 · 유선일 · 정진욱 · 정석민

경북 포항시 790-600 포항공대 물리학과
(1992년 9월 17일 접수)

Dry Nitrogen Venting System for Ultra-high Vacuum

Sung Sue Lee, Seonil Yu, Jinwook Chung and Sukmin Chung

*Department of Physics Pohang Institute of Science and
Technology Pohang, Kyungbuk 790-600, Korea*
(Received September 17, 1992)

요 약—초고진공 시스템에 있어서 시스템을 대기압으로 바람을 넣은 후 정상상태로의 신속한 원상회복을 위하여 건조질소 통풍(venting) 장치를 고안 제작하였다. 이 장치는 액체 질소 저장통, 증발기 및 여과기로 구성되어 있다. 이 장치에 의한 통풍효과와 다른 방법에 의한 통풍효과를 가스 방출률 측정을 통하여 정성적으로 비교 분석하였을 때, 본 장치가 가장 낮은 가스 방출률과 가장 빠른 진공회복을 보여주었다.

Abstract—A new dry nitrogen venting system has been developed and built which enables quick recovery of a vented-system to normal vacuum condition. The assembly consists of a liquid-nitrogen reservoir, an evaporator, a liquid-nitrogen trap with a mesh filter. Through outgassing rate measurement of a test chamber which was vented using several methods, effectiveness of this dry nitrogen supply system has been tested and compared with other methods. The new dry nitrogen venting system has shown superior performance to others in both outgassing rate and quick recovery.

1. 서 론

표면 분석 장비나 가속기, 저장링 등의 진공시스템에는 초고진공이 필수적이다. 초고진공을 얻어내는 것이 특별히 어렵거나 이와 관련하여 어떤 마법이 있는 것은 아니다. 그러나 그것을 성취함에 있어 재료 선택과 가공처리 및 취급에 신중을 기하여야 하며 작은 부분 하나하나에 까지 세심한 주의를 기울여야 하고 정성을 쏟아 넣어야 한다. 그러므로 대부분의 중대한 상황에서는 표면처리, 배기 절차 등과 함께 실내 오염에의 노출이 신중히 그리고 조화있게 꾸며져야 한다[1].

방사광 가속기의 저장링에 있어서는 전자나 양전자와 같은 저장된 입자의 보다 긴 수명을 위하여 항상 진공도에 대한 개선책이 끊임없이 모색되어져야 한다. 뿐만 아니라, 저장링의 진공시스템은 진공을 열고 재조립한 후 낮은 운전 압력에 신속히 도달하여야 한다. 저장링은 라디오파 공동(R.F. Cavity)와 같은 부품을 교환 또는 첨가하거나 보수 작업을 할 때 대기에 노출된다. 이런 때에는 대기 노출 후 정상 운전으로 빨리 원상 복귀할 수 있도록 통풍(venting)시 적절한 조치가 이루어져야 한다. 따라서, 진공을 열기 전에 진공시스템에 어떻게 바람을 넣어 주느냐 하는 것은 대단히 중요한 문제이다.

초고진공 시스템을 통풍시키기 위하여 기체로 다시 채우는데에는 지금까지 여러 가지 방법이 실험실이나 저장탱과 같은 대형장치에서 사용되어 오고 있다. 예를 들어, 질소가스를 액체질소로 냉각된 여과 장치를 통과시킴으로써 그 속에 함유되어 있는 수분 등을 제거하여 진공실을 채운다든지, 또는 그저 액체질소를 증발시켜서 진공실 안으로 넣어주는 방법 등이 통상적으로 흔히 쓰여지고 있다. 이러한 방법들은 초고진공 시스템을 실내 공기로 바로 채워주는 것 보다는 더 효과적이라고 알려져 있어서 일반적으로 많이 사용되고 있으나 그 효과에 대한 정성적 분석은 구체적으로 이루어지지 않고 있다. 더욱이 이와 같은 방법으로 통풍시킨 진공시스템일지라도 공기와의 접촉시간이 길어지면 그 효과를 기대할 수 없게 되어 시스템을 굵지(backout) 않고 배기하는데에는 상당한 시간이 걸리게 된다. 여기에는 진공실 내벽에 흡착하여 머물고 있다가 배기가 진행됨에 따라 여러 가지 복잡한 양상으로 방출되어 나오는 수증기 분자가 핵심적인 역할을 하고 있다. 따라서 가장 효과적인 통풍은 가능한 한 진공실 내벽에 수증기가 달라붙는 것을 억제하는 방법이라야 한다.

이에 본 연구에서는 수증기 분자의 진공실 내벽에의 흡착을 최소화하기 위하여 액체 질소를 이용한 건조 질소 통풍장치를 제작하여 그 통풍효과를 가스 방출률 측정을 통하여 다른 방법에 의한 통풍효과와 비교분석하였다.

2. 건조질소 통풍장치

건조질소 통풍장치의 개략도가 그림 1에 나타나 있다. 이 장치는 액체질소 저장통, 증발기, 여과기(filter), 그리고 연결관 및 밸브로 구성되어 있다. 장치의 모든 부품은 스테인레스 강으로 만들어져 있다. 밸브는 모두 가열할 수 있으며 진공용기에는 200°C 이상으로 구울 수 있는 일체 금속밸브(all metal valve)에 연결된다. 액체질소 저장통을 제외한 일체의 장치가 운반차에 장착되어 있어서 원하는 곳으로의 이동이 용이하다.

통풍하기 전에 우선 통풍계 전체를 50 l/s의 터보 분자 배기 시스템으로 배기하고 10°C 정도로 하루 정도 가열하였다. 이 때 V2를 잠가 배기계를 통풍계와 분리시키고 V1을 잠근 상태에서 다시 오븐을 통해

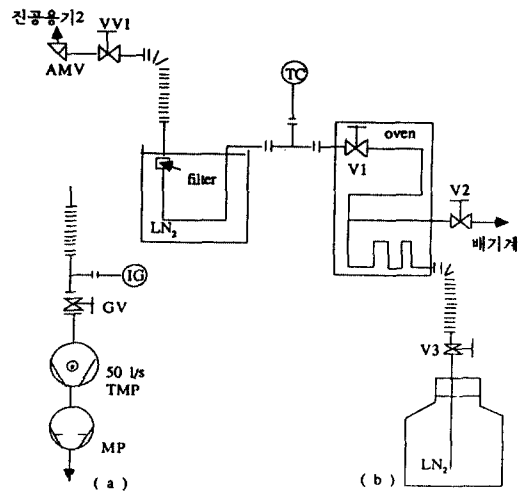


그림 1. 새로운 건조질소 venting 장치

통풍계의 일부(증발기)를 약 80°C 정도로 가열하여 차가운 액체질소가 진공용기 속으로 맞바로 들어가지 않도록 했다. 이렇게 건조된 질소가스는 액체질소 속에 담겨진 여과기를 통해 잔류수분을 제거한 후 진공용기로 들어가게 된다.

3. 결과 및 토의

통풍조건에 따른 가스방출률 측정방법으로는 흔히 사용되고 있는 기체 유량법(throughput method)를 사용하였다[2]. 가스방출률 측정장치는 이미 발표된 다른 논문에 상세히 기술되어 있다[3]. 하지만 간단히 그 개요를 살펴보면 직경 5 mm의 orifice를 사이에 두고 양쪽에 진공용기가 있고 하류(downstream)쪽에는 잔류가스분석기(residual gas analyzer)가 설치되어 있으며, 주 펌프는 360 l/s 터보 분자 펌프가, 보조펌프는 rotary vane pump가 사용되었다. 이 orifice의 배기 속도는 300 K, 질소에 대하여 2.34 l/s이다. 가스 방출률은 양쪽 진공 용기의 압력 차이에 의하여 쉽게 얻어진다.

본 실험에 채택된 시험 통풍가스로는 상대습도가 30%인 공기, 순도가 99.999%인 연구용 질소가스(pure N₂) 그리고 본 연구실의 통풍장치를 거쳐 나온 질소가스(extremely DN₂) 등이다. 진공용기를 가스로 다시 채우고 진공을 열어 실내 공기에 노출된 시간은 각각 1시간이었다.

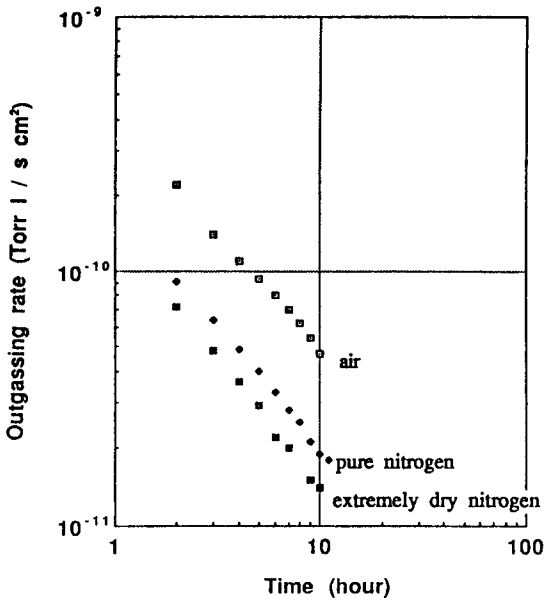


그림 2. Venting 후 가스방출률.

그림 2는 각각의 방법으로 통풍시킨 진공용기의 배기에 따른 가스방출률의 변화를 보여준다. 이 그림에서의 가스방출률은 굽기 전 실온에서의 질소 등가값(N_2 equivalent)으로 나타내었다. 또한 각 가스별로 통풍 후 배기해서 10시간 되었을 때의 압력, 가스방출률(q) 및 직선의 기울기(α)가 표 1에 정리되어 있다. 기울기는 최소 자승법으로 구한 값이다. 이들은 일견 log-log 그래프에서 기울기가 -1 근처에 있는 직선을 나타내지만 자세히 살펴보면 직선의 기울기는 extremely DN_2 , pure N_2 , air에 대해 각각 -1.04 , -0.09 , -0.91 로서 조금씩 다르다. 기울기의 절대치가 클수록 빠른시간 내에 낮은 압력을 얻을 수 있기 때문에 좋은 진공상태를 나타낸다. 이것은 낮은 활성화 에너지의 질소가스가 벽에 흡착되어 있는 평균 흡착 시간이 수증기에 비하여 상대적으로 짧고 그 결과 빠른 시간에 탈리되기 때문이다. 더욱이 그림에서 알 수 있듯이 표면 덮기 정도도 공기인 경우가 가장 크고 extremely DN_2 인 경우가 가장 작다. 이것은 extremely DN_2 인 경우에 표면에 흡착된 가스의 양이 가장 작음을 보여주고 있다. 여기서 원하는 압력에 도달하기 위한 실내온도에서의 시간은 통풍방법에 따라 달라지나 extremely DN_2 으로 통풍시켰을 때가 그 시간이 가장 짧음을 알 수 있다. 본 연구실에서 제작한

표 1. Venting 조건에 따른 10시간 배기에서의 여러 물리량들

Venting	Air	Pure N_2	Extremely DN_2
P_1 (torr)	5.0×10^{-8}	2.1×10^{-8}	1.5×10^{-8}
P_2 (torr)	4.8×10^{-9}	3.0×10^{-9}	2.4×10^{-9}
q (torr /s cm^2)	6.94×10^{-11}	2.76×10^{-11}	1.93×10^{-11}
α	-0.91	-0.98	-1.04

통풍장치에 의해 얻어진 질소가스가 연구용 순수 질소가스보다 수증기 함유량이 더 적다는 것은 주목할 일이다.

초고진공 생성을 방해하는 중요 인자에 수증기 분자가 있다. 굽기(baking) 전에 실온인 진공용기를 배기하였을 때, 최후까지 용기안에 남아 있는 가스는 거의가 수증기이다. 나머지는 약간의 수소와 일산화탄소이다[4, 5]. 수증기 분자는 용기 내벽면으로부터 탈리되어 배기가 진행됨에 따라 서서히 방출되어 나온다. 자연히 진공연구에는 수증기 분자와 진공용기 내벽면과의 상호작용에 대한 이해가 전제되어야 하고, 여기에는 진공용기 표면의 구조적 특성과 흡착현상을 함께 고려하는 것이 불가결하다.

진공용기의 벽은 산화막으로 덮여 있다. 그 두께와 청결도는 진공용기를 만든 뒤의 표면처리 즉, 주로, 세척에 따라서 달라지는데, 산화막의 두께는 시판되는 판을 탈지 처리만 하였을 때는 50 nm나 되고 전해 연마를 하더라도 6 nm 정도는 된다[2]. 이 산화막의 표면은 마치 원자 세계에서 미시적 스폰지와 같은 조직을 하고 있어서 표면이 거칠고 다공질이라는 것이 알려져 있다[3]. 수증기 분자는 이런 표면과의 사이에서 대량으로 물리 흡착 뿐만 아니라 화학 흡착도 하고 있다고 생각되고 있다. 수증기 분자는 그리하여 놀랄만큼 긴 시간동안 표면에 흡착하고 있다. 상온에서는 수 마이크로초 자리나 된다. 수증기 분자의 진공 중에서의 행동을 몹시 복잡다단하게 하고, 또한 특이하게 하는 이유는 이 긴 흡착시간과 밀접한 관계가 있다. 초고진공계에서는 진공계로부터 수증기 분자를 몰아내는 것이 관전인데, 진공용기를 공기로 무심코 통풍시키면 진공용기의 구성 재료인 스테인레스 강 등의 산화층은 그야말로 수증기 투성이가 되고 만다. 일단 표면에 흡착하고 있는 수증기를 온갖 수단과 방법으로 모두 몰아냈다고 해도 그 용기를

그냥 대기 중에 노출시키면 대기 중의 수분이 다시 흡착되어 버리는데에 문제의 심각성이 있다. 따라서 진공용기를 대기 중에 드러 내기 전에 다공성의 산화층을 최대한 억제하는 것이 무엇보다 중요하다. 질소가스는 활성화에너지가 낮고 평균흡착시간도 수증기에 비하여 수 천배가 짧아서 대체 가스로 적합하다.

3. 결 론

시스템을 대기압으로 바람을 넣은 후 정상상태로의 신속한 원상회복을 위하여 초고진공용 건조질소 통풍(venting) 장치를 고안 제작하였다. 이 장치에 의한 통풍효과와 다른 방법에 의한 통풍효과를 가스 방출률 측정을 통하여 정성적으로 비교분석하였다. 본 실험에 채택된 시험통풍 가스로는 상대습도가 30%인 공기, 순도가 99.999%인 연구용 질소가스(pure N₂) 그리고 본 연구실의 통풍장치를 거쳐 나온 질소가스(extremely DN₂) 등이다. 각각의 방법으로 통풍시킨 진공용기의 배기에 따른 가스방출률의 변화를 보여주는 배기곡선에서 직선의 기울기는 extremely DN₂, pure N₂, air에 대해 각각 -1.04, -0.98, -0.91로서 extremely DN₂인 경우가 기울기의 절대치가 가장 크고, 또 원하는 압력에 도달하기 위한 실내온도에서의 시

간도 extremely DN₂으로 통풍시켰을 때가 그 시간이 가장 짧았다. 이로써 본 장치가 가장 낮은 가스 방출률과 가장 빠른 진공회복을 보여주었다. 이 장치는 이와 같은 장점이 있기 때문에 가속기나 실험실 등의 실제현장에서 바로 사용될 수 있는 바 실용성이 상당히 크다.

감사의 글

이 논문은 1992년도 문교부 기초과학 연구소 학술 연구 조성비 및 첨단재료 물리 연구센터(SRC 장려 센터)의 지원에 의하여 연구되었다. 연구에 유익한 도움말을 주신 박종도씨께 감사드린다.

참고문헌

1. N.B. Mistry, AIP Conference Proceeding No. 171, 1 (1988).
2. R.J. Elsey, *Vacuum*, 2, 347 (1975).
3. S.I. Yu, S.S. Lee, J.W. Chung and S. Chung, *J. K. Vac. Soc.*, 1, 1 (1992).
4. J.F. O'Hanlon, *A user's guide to vacuum technology*, John Wiley & Sons Inc. (1989).
5. A. Roth, *Vacuum technology*, North-Holland Publishing Company (1976).