

# 공기 중 아르곤 0.016% 더 많다

글\_ 김진석 한국표준과학연구원 가스분석표준그룹장 jkim@kriss.re.kr

**공**기의 주요 화학 조성은 질소, 산소, 아르곤, 수증기, 이산화탄소다. 이 중 보통 1%를 차지하는 수증기는 날씨에 따라 많은 편차를 보이고 있으며, 이산화탄소는 온실가스의 주성분으로 산업혁명 이후 급격히 증가하고 있지만 그 양은 약 0.04%에 불과하다. 아르곤은 약 0.9% 들어있지만 불활성 기체로서 인간 생활에 직접적인 영향을 주지는 않는다. 질소와 아르곤은 건조 공기 중에서는 그 조성이 일정한 것으로 알려져 있으며, 산소와 이산화탄소는 서로 의존하여 변한다. 즉, 이산화탄소 농도가 올라가면 산소 농도는 그만큼 낮아진다.

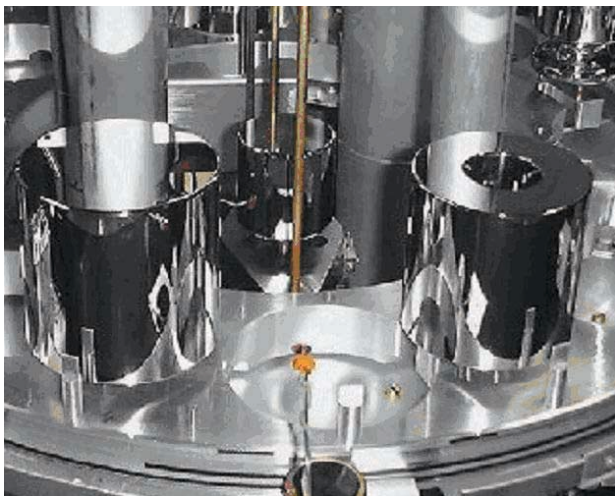
## 1969년 이후 아르곤 농도 0.917%로 사용

아르곤은 1894년에 영국의 레일리과 램지가 공기에서 산소를 제거하고 얻은 질소의 비중과 질소화합물을 분해하여 얻은 질소의 비중이 다른 점에 착안, 공기에서 이 물질을 분리시켜 발견하였고, 이듬해 그 농도가 0.8% 정도 된다는 사실을 발표하였다. 이후 많은 화학자들이 공기 중의 아르곤의 농도를 측정하여 발표하였는데, 1945년까지 다섯 군데의 실험실에서 발표된 건조공기 중의 아르곤 농도는 0.932~0.937%로 보고되었으

며, 이후 1969년까지 세 실험실에서 발표된 아르곤 농도는 0.917%로 알려졌다. 그 후 공기의 밀도를 구하는 요소로서 아르곤 농도는 0.917%가 사용되었으며, 이 값이 공기 중의 아르곤 농도로 받아들여져 왔고, 질량원기와 표준용 질량분동의 부피 차이에서 오는 공기의 부력보정에 적용시켜왔다.

부피가 다르지만 질량이 똑같은 분동을 여러 개 만들어 진공 중에서 측정하고 공기 중에서도 측정하면 진공 중에서 같았던 분동이 공기 중에서 무게가 다르게 나타난다. <그림1>은 BIPM(국제도량형총국)에서 질량 비교실험을 할 수 있는 저울 장치이며, 이 실험을 '납과 깃털' 실험으로 부른다. 아르키메데스 원리에 의해 무게 차이가 부피차이에서 오는 부력이며, 이를 정확한 부피차이로 나누어 주면 공기 밀도를 구할 수 있다. 이렇게 구한 공기 밀도와 공기의 조성, 분자량, 기체상수 등을 이용하여 식으로부터 구한 밀도 값이 항상 약간의 불일치를 보여준다는 사실을 10년 전부터 질량표준을 연구하는 과학자들이 발견하였지만 근본적인 원인이 어디에 있는지를 밝힐 수가 없었다.

이 문제를 해결하기 위하여 2002년 4월 국제도량형총국에서는 부력 보정시 적용된 공기의 조성에 오류가 있을 것이라는 판단으로 산하 조직인 물질량 자문위원회에 문의하였고 영국, 네덜란드, 미국, 한국의 표준기관에서 공기의 조성을 분석하여 보고하기로 하였다. 그러나 한국을 제외한 타참가국은 요구하는 측정 정확도 수준에서 공기 조성을 측정할 수가 없었고, 한국표준과학연구만이 공기의 각 조성을 측정하여 2003년 4월에 결과를 보고했다.



<그림 1> BIPM에 있는 자동 저울 장치로서 진공 및 공기 중에서 작동할 수 있음. 왼쪽과 오른쪽의 가공품은 질량과 표면적이 같지만 부피는 왼쪽 것이 큼

<표 1> 배경지역 건조 공기 중의 질소, 산소, 아르곤의 농도

화학종	백분율 농도 (%mol/mol)	불확실도(k=2) (%mol/mol)
질소	78.082	0.012
산소	20.945	0.012
아르곤	0.9332	0.0006

보고된 공기 조성에서는 아르곤 농도가  $0.9332 \pm 0.0006\%$ (제시된 불확실도는 95% 신뢰수준)로 기존에 알려진 0.917% 보다 높은 값이며, 그만큼 질소 농도가 낮다는 측정값을 제시하였다. 보고된 측정결과와 타당성을 조사하기 위하여 BIPM 산하 질량 및 화학 자문위원회 소속 전문가들이 한국의 실험 방법을 검토하였으며, 2004년 9월 BIPM에서 발간하는 논문인 '메트롤로지아'에 게재승인을 받았고, 2004년 12월호 특집 논문으로 선정되었다. 이 새로운 아르곤 농도를 적용하면 1kg 표준분동의 납과 깃털 실험에서 발견된 차이에 대한 해석이 가능해지고 공기밀도가 기존에 알려진 것보다 더 높다는 것을 의미한다.

### 정밀가스질량분석기로 공기조성물질 측정

공기를 조성하고 있는 물질의 농도를 정확하게 측정하기 위하여 공기의 조성과 유사한 표준공기가 필요하며, 표준공기와 대기 중에서 채취한 건조 공기 시료를 비교분석해 공기 시료 중의 각 물질의 농도를 구할 수 있다. <그림2>는 표준공기를 제조할 때 사용하는 실린더 자동 질량 측정 장치이며, 순도를 정확히 알고 있는 고순도 원료가스를 공기 비율과 유사하게 혼합하여 표준공기를 만들었다. 이렇게 만든 표준공기가 건조공기 측정의 기준이 되며, 정밀가스질량분석기를 사용하여 표준공기와 시료간에 정밀 비교 분석을 하여 건조공기의 정확한 조성 비율을 구하였다.

연구에 사용한 정밀가스질량분석기는 이온화된 분자에 자기장을 걸어주면 질량차이에 따라 휘는 정도가 달라 분자별로 측정을 하는 장치이다. 각 화학종의 조성을 정확히 알고 있는 표준공기와 시료 공기를 번갈아가면서 측정을 하고, 표준공기를 기준으로 시료공기의 조성을 구하였다.

전세계적으로 지구 배경대기를 관측하는 장소로는 세계기상기구(WMO)에서 지정하여 운영하고 있으며, 이번에 시료로 취하여 분석한 공기도 지정 관측소에서 채취한 것을 사용하였다. 지구상에 있는 공기의 조성은 일반적으로 잘 혼합되어 있는 것으로 알려져 있지만, 한국 안면도에 있는 한국지구대기감시관측소(기상청 소속)와 미국 콜로라도 볼더의 Niwot Ridge Site(미국해양기상청 소속) 두 곳에서 채취한 공기시료를 측정하였다. 두 곳 모두 질소, 산소, 아르곤의 농도가 측정 불확도내에서 일치하였으며, 단지 지역 편차를 보이는 이산화탄소만 다르게




<그림 2> 건조공기 측정의 기준이 되는 표준 공기(일차표준가스)를 중량법으로 제조하기 위한 실린더 자동 질량 측정 장치



<그림 3> 한국표준과학연구원에서 공기 조성을 측정하기 위하여 사용한 정밀가스질량분석기

나타났다. <표 1>은 건조 공기의 조성중 주성분인 질소, 산소, 아르곤에 대하여 본 연구를 통하여 밝혀진 농도값을 나타냈다.

연구 결과로 밝혀낸 건조 공기 중의 정확한 아르곤 농도는 20세기에 정의된 공기 밀도의 오류를 바로잡아 정밀질량 측정의 기반을 확립하는 역할을 할 것이다. 이러한 가스분석은 기초과학으로 직접적인 상품생산에 영향을 주지는 않지만, 본연구에서 얻은 경험과 세계 최고 수준의 가스분석기술은 국내 산업의 경쟁력 향상에 기여할 것이다. 



글쓴이는 연세대학교 화학과 졸업 후, KAIST에서 석사학위를, 샌디에이고대에서 박사학위를 받았다.