

대기 중 노블가스 분석

이완로 · 이승일* · 최상도 · 조영현 · 정근호 · 김희령 · 이창우 · 최근식 · 강문자 · 전인 · 금동권
한국원자력연구원
(주)엑트*

E-mail: petor@kaeri.re.kr

중심어 (keyword) : 노블가스, 방사성 제논, 방사성 크립톤, 방사능 계측

서론

대기 노블가스 중 방사성 크립톤과 제논 분석은 재처리시설뿐만 아니라 지하 핵실험탐지를 위해 매우 중요하다. 대기 중 방사성 크립톤의 주요 방출원은 핵연료 재처리, 체르노빌 사고 등과 같이 발전소 사고, 핵실험과 미량이지만 우주선 및 바닷물에서 생성되기도 한다. 방사성 제논 역시 핵분열로 인해 생성되며, 핵실험, 발전소 및 기타 의료용에서도 생성된다. 방사성 제논의 경우 반감기가 짧아 몇 개월 내에 미미한 수준의 농도로 감소하기 때문에 빠른 시일에 분석해야 정확한 결과를 얻을 수 있다. 대기 중에 크립톤은 약 $1.14 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ 정도 존재하며, 제논(Xe) 역시 $0.087 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ 정도로 공기 중에 극미량이 존재한다. 따라서 대기 중 노블가스의 분석은 특수한 전처리 및 농축, 방사능계측 등이 필요하다. 본 연구에서는 대기 중 노블가스 즉 방사성 제논 및 크립톤 분석에 관해서 고찰하고 대기 중 방사성 제논 및 크립톤 백그라운드를 측정하였다.

재료 및 방법

가. 대기 중 시료 포집

표 1에서 나타냈듯이 대기 중 대부분은 질소와 산소로 구성되어 있고 크립톤 및 제논은 그 비율이 매우 낮다[1]. 따라서 대기 중 크립톤 및 제논을 분석하기 위해서는 특수 포집장치가 필요하며 주로 초저온 흡착방법이 주로 이용된다.

표. 1 대기 공기 조성

성분	분자량	bp(°C)	체적비(%)
N ₂	28.01	-196	78.09
O ₂	32.00	-183	20.95
Ar	39.93	-186	0.93
CO ₂	44.01	-78.5	0.03
CH ₄	16.05	-161	14.E-4
Ne	20.18	-246	1.8E-3
He	4.00	-269	5.2E-4
Kr	83.7	-153	1.1E-4
Xe	131.3	-109	8.0E-6

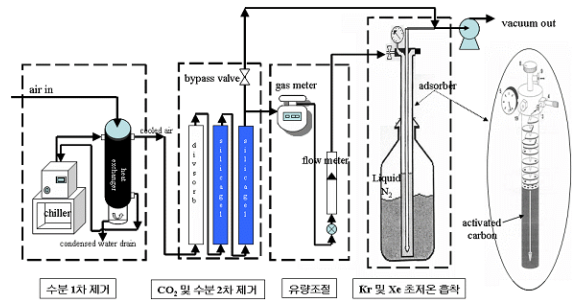


그림 1 대기 중 노블가스 분석을 위한 시료포집

그림 1에서는 포집장치를 보여주고 있는데 공기 조성 중 대부분을 차지하는 수분을 1차로 제거하고 실리카겔 등의 필터를 이용하여 2차로 이산화탄소 및 수분을 제거한다. 수분과 이산화탄소가 제거된 공기는 진공펌프를 이용하여 냉각되어 있는 흡착기에 통과되고 크립톤 및 제논이 흡착된다. 흡착기는 활성탄으로 구성되어 있으며 초저온의 경우 제논 및 크립톤 흡착률이 증가된다. 포집량은 주로 10 m^3 이며 포집시간은 하루에서 1일주로 셋팅할 수 있다.

나. 1차 및 2차 농축

포집된 시료에는 아직도 많은 분순물이 포함되어 있다. 따라서 불순물을 제거하고 제논 및 크립톤 농도를 높이기 위해서 농축이 필요하다. 1차 농축은 포집된 시료를 미니캔으로 이송하면서 실리카겔을 통해서 하고 2차 농축은 미니캔으로 이송된 시료를 molecular sieve를 통해서 이산화탄소 및 기타 분순물을 제거한다.

다. 분리정제

시료의 분리, 정제단계는 포집단계에서 채취된 혼합가스 시료를 분리, 정제하여 순수한 크립톤 및 제논 핵종만을 얻기 위한 과정이다. 분리용 GC(gas chromatography)를 이용하여 산소, 질소, 크립톤, 제논을 분리한다. 이렇게 분리된 원소 중 제논 및 크립톤만 방사능 계측기에 보내는 역할을 한다.

라. 방사능 계측

비례계수기는 Kr 분석 검출기 및 Xe 분석 검출기가 각각 있으며, 백그라운드를 줄이기 위해서 가드(guard) 검출기로 구성하였다. 위의 같이 구성했을 경우 가드검출기에 반응하고 내부의 제논 및 크립톤 검출기에 동시에 반응했을 경우 본 시스템에서는 백그라운드로 인식하여 MDA를 낮추는 역할을 한다. 식 (1)은 방사성 크립톤의 방사능을 구하는 방법을 보여주고 있다. 제논의 경우도 비슷하게 방사능 농도를 구하는데 다만 반감기를 고려해서 보정상수가 들어가는 것이 차이가 난다.

$$A_{Kr-85} = C \times \frac{R}{\epsilon \times V} \quad (1)$$

여기서 A_{Kr-85} : 공기 중 Kr-85 activity (Bq/m³)

R: Kr 계측기에서 측정된 순 계수율 (cps)

C: 공기 중 Kr가스의 체적비(1.14 cm³/m³)

V: Kr 계측기 내에 포집된 Xe의 부피 (cc 또는 cm³)

ϵ : Kr 계측기의 효율(일반적으로 70 %이상 나옴)

결과 및 고찰

시료의 포집, 1차 및 2차 농축, 분리정제 및 방사능

계측을 통해서 대기 중 노블가스(방사성 제논 및 크립톤)를 분석하였다. 1차 및 2차 농축을 통해서 약 250,000배 농축하였다. 그림 2에서는 나타냈듯이 GC를 이용하여 분리 및 정제를 하였다. 산소, 질소, 크립톤 및 제논 순으로 분리되었다.

대기 중 조성비에 나타냈듯이 크립톤이 제논보다 대기 중에 많기 때문에 그림에서도 크립톤이 많이 포집되었다.

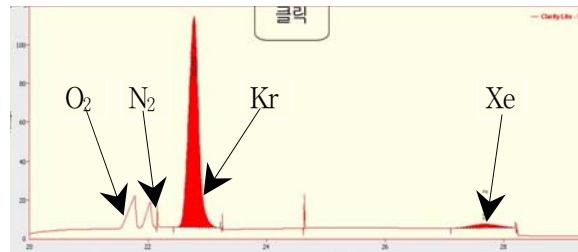


그림 2 분리용 GC를 이용한 노블가스 분리

또한 크립톤 및 제논의 포집효율은 대략 50 ~ 70 % 정도로 포집되었다. 즉 10 m³를 포집했을 경우 크립톤과 제논 각각 11.4 cm³와 0.87 cm³가 포집되면 100 % 효율을 나타낸다. 본 연구에서는 평균 5.5 cm³ 및 0.45 cm³ 포집되었다. 이는 본 분석법의 최초 개발국인 독일과 비슷한 효율이었다. 방사능 계측기 분석한 결과 북반구의 평균과 비슷한 결과를 획득하였다 (방사성 크립톤 1.3 ~ 1.5 Bq/m³, 제논 <MDA).

결론

대기 중 제논 및 크립톤 분석 방법에 대해서 고찰하였고 또한 대전지역의 방사성 제논 및 크립톤 백그라운드를 측정하였다. 본 분석법의 재처리 주변시설 및 핵활동 모니터링에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 한국원자력연구원, 금동권 외 다수, 대기 중 Kr-85 분석기술 개발, (2004).