

제주도 고산지역 PM₁₀ 에어로졸 중의 ⁴⁰K, ²³²Th, ²³⁸U 조성 특성

박연현, 박재우, 한충훈*

제주대학교, 제주도 제주시 제주대학로 102

mtc0252@jejunu.ac.kr

1. 서론

본 연구는 제주도 고산측정소에서 채취한 PM₁₀ 시료중 ⁴⁰K, ²³²Th, ²³⁸U를 ICP-DRC-MS를 이용하여 방사능 농도를 구하고 radium equivalent (Ra_{eq})를 계산하여 제주지역 에어로졸 조성 특성을 분석한 결과이다.

2. 본론

2.1 연구방법

2.1.1 PM₁₀ 미세먼지 시료 채취

PM₁₀ 미세먼지 시료를 제주도 서쪽에 위치한 고산측정소(33°17'N, 126°10'E)에서 PM₁₀ Sequential Air Sampler (APM Engineering, PMS-103, Korea)를 사용하여 2014년 1월부터 12월까지 24 시간 단위로 총 115개를 채취하였다. 이때 흡입 공기의 유속은 초기속도가 대략 16.7 L/min이 되도록 조절하였다.

2.1.2 시료의 전처리

채집한 PM₁₀ 시료를 US EPA방법(Method IO-3)에 근거하여 마이크로파 분해법으로 전처리 하였다. 시료가 채취된 필터를 테프론 용기에 넣고 5.55% HNO₃/16.75% HCl 혼합산 10 mL를 가한 후 마이크로파를 조사(1,000 W)하였다. 마이크로파 분해를 거친 시료를 주사기 필터에 통과 후 3% HNO₃/8% HCl 혼합산 5 mL를 넣고 초순수로 25 mL가 되도록 희석하였다[1]. 전처리를 거친 PM₁₀의 금속 성분들은 ICP-MS(Perkin Elmer, model ELAN DRC-II, USA)로 성분들을 분석하였다. 측정 전 7회에 걸쳐 분석한 각 성분들의 평균 기기검출 한계(IDL)는 Table 1와 같다.

Table 1. Instrumental detection limit (IDL) and variation of coefficient (CV) for ICP-MS (n=7)

Species	K (ng/ml)	U (pg/ml)	Th (pg/ml)
IDL	2.900	4.145	5.369
CV (%)	0.920	1.165	1.552

2.1.3 동위원소의 방사능 농도

ICP-MS로 측정된 각 핵종(³⁹K, ²³²Th, ²³⁸U) 농도를 계산에 적합한 농도(g/m³)로 산출한 다음 (1)식에 대입하여 각 핵종의 방사능 농도를 계산하였다[2,3].

$$A_i = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \times \frac{\rho_i \times m_e}{M_i} \times N \quad (1)$$

A_i : 핵종(⁴⁰K, ²³²Th, ²³⁸U)의 방사능 농도(Bq/m³)

$T_{1/2}$: 반감기(s)

ρ_i : 자연존재비율

m_e : 핵종(³⁹K, ²³²Th, ²³⁸U)의 농도(g/m³)

M_i : 몰 질량(g/mol)

N : 아보가드로 수($6.023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$)

2.1.4 Radium equivalent activity

라듐 등가지수(Radium equivalent index)는 널리 사용되는 방사선 위험 지수이다. 다음 라듐 등가지수 계산식(2)으로 지수(Ra_{eq})를 구하였다[4].

$$Ra_{eq} = \left(\frac{A_U}{370} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810} \right) \times 370 \quad (2)$$

여기서, A_K , A_{Th} , A_U 은 각각 ⁴⁰K, ²³²Th, ²³⁸U핵종의 방사능 농도(Bq/m³)이다.

2.2 결과

2.2.1 대기현상별 PM₁₀시료 중 핵종 농도변화

대기 에어로졸 조성에 황사(Asian Dust), 연무(haze), 박무 및 안개(fog-mist) 등의 기상인자는 중요한 역할을 한다. 따라서 본 연구에서는 제주도 고산지역의 각 대기현상에 따라 PM₁₀ 에어로졸 중 ⁴⁰K, ²³²Th, ²³⁸U 농도변화를 연구하였다. 다음 연구를 위해 PM₁₀ Sequential Air Sampler가 설치되어 있는 고산측정소에서 시료를 채집하고 기상청의 자료를 이용하여 각 기상인자에 대한 자료를 수집하였다. 기상인자는 황사, 연무, 박무 및 안개, 비현상일(Non-event)로 구분하였다. 그리고 제주도 고산지역에서 측정된 PM₁₀의 각 핵종별 농도를 기상현상에 따라 평균하여 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Each nuclide ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th activity concentrations in Airborne PM_{10} , and the Radium equivalent index (Ra_{eq}) at the Gosan location in Jeju Island

	All (115)	AD (5)	HA (6)	FM (57)	NE (47)
$\text{PM}_{10}(\mu\text{g}/\text{m}^3)$	46.311	127.822	105.467	36.599	41.867
$\mu\text{g}/\text{g}$	0.555	1.239	0.614	0.529	0.506
^{40}K Bq/kg	146.900	328.047	162.556	140.079	133.903
$\mu\text{Bq}/\text{m}^3$	7.894	40.894	18.295	5.582	5.859
$\mu\text{g}/\text{g}$	1.025	2.807	1.246	0.942	0.908
^{232}Th Bq/kg	4.157	11.381	5.052	3.821	3.681
$\mu\text{Bq}/\text{m}^3$	0.296	1.466	0.504	0.173	0.171
$\mu\text{g}/\text{g}$	0.527	0.870	0.649	0.615	0.367
^{238}U Bq/kg	6.484	10.712	7.991	7.578	4.515
$\mu\text{Bq}/\text{m}^3$	0.246	1.367	0.504	0.242	0.194
Bq/kg	30.606	52.235	27.727	22.726	19.738
Ra_{eq} $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$	8.308	42.960	19.354	5.911	6.067

AD(Asian Dust), HA(Haze), FM(Fog-Mist), NE(Non-Event)

측정결과 기상인자는 황사가 각 핵종의 방사능 농도 및 라돈 등가지수가 다른 기상인자와 비교하여 연무의 2배, 박무와 비현상일의 7 ~ 8배 높게 측정되고 그 다음 연무가 비현상과 박무보다 높게 측정되었다. 박무와 비현상은 비슷한 농도로 측정되었다.

2.2.2 연간 PM_{10} 중 라돈 지수 및 핵종 농도변화

연간 라돈 등가지수의 변화를 알아보기 위해 1~12월까지 115개의 PM_{10} 에어로졸의 농도를 식(2)로 구한 지수(Ra_{eq})를 다음 아래의 Fig. 1에 나타냈다.

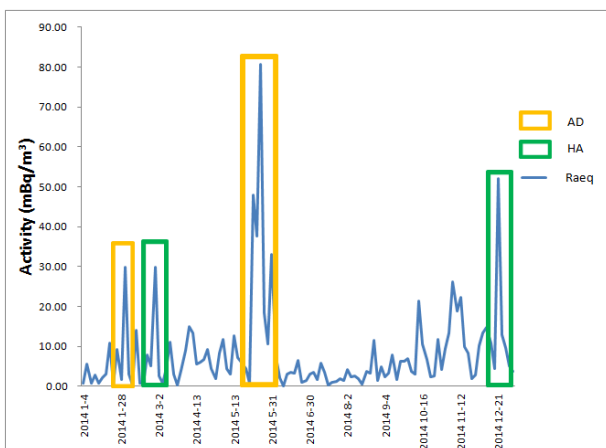


Fig. 1. the Radium equivalent index Ra_{eq} of the Gosan location in Jeju Island.

다음 1 ~ 12월 중 황사가 집중되어있는 5월에 라돈 등가지수가 가장 높은 농도로 확인할 수 있었

고 황사 기간 제외한 기간 중 높은 농도의 증가 지수는 연무현상으로 인한 증가로 확인 할 수 있었다.

3. 결론

국내 배경지역 중 제주도 고산지역 연간 PM_{10} 의 에어로졸의 ^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U 핵종별 평균방사능은 각각 146.900, 4.157, 6.484 Bq/kg로 측정되었다. 기상인자에 따른 가장 높은 평균 방사능 농도는 황사인자 52.727 Bq/kg로 이는 OECD가 제한한 기준치 360 Bq/kg 아래로 확인 할 수 있었다.⁴ 각 기상인자 별 평균 라돈등가지수(Ra_{eq})를 비교한 결과 황사 42.960 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ 와 비교하여 연무가 약 2배 박무, 비현상 비교하여 약 7배 높은 지수로 나타났다. 연간 Ra_{eq} 농도의 거동을 살펴본 결과 황사가 집중되어있는 5월에 가장 높은 농도로 측정되었다.

4. 감사의 글

이 연구는 교육과학기술부 한국연구재단 중점연구사업(NRF-2010-0020077)지원을 받아 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] Main, A., William, T., Compendium of methods for determination of inorganic compounds in ambient air(Method IO-3. 1;Selection, Preparation and Extraction of Filter Material). US Environmental Protection Agency EPA/625/R-96 /010a, 1-27 (1999)
- [2] Magill, J., Galy, J., Radioactivity, Radionuclides, Radiation. Springer, Berlin (2005).
- [3] Al-Sulaiti, H., Nasir, T., AlMugren, K.S., *et al.*, Determination of the natural radioactivity levels in north west of Dukhan, Qatar using high-resolution gamma-ray spectrometry. Appl. Radiat. Isot. 70, 1344-1 (2012).
- [4] NEA-OECD, Nuclear Energy Agency. Exposure to radiation from natural radioactivity in building materials, Report by NEA Group of Experts, OECD, Paris.1979.