

핵연료 물질 사용시설 내 감손 우라늄의 오염 분석

전종선, 정기철, 박상규, 김태현, 이재민

에네시스, 대전광역시 유성구 장대동 337-2번지

nunki@enesys.co.kr

핵연료 물질 사용시설 내 제조공정에서 화학반응 촉매로 사용하였던 감손 우라늄의 오염정도를 확인하고 사용시설 내 우라늄의 농도가 원자력관련 법령의 환경 허용기준치에 따르는지 확인하였다. 우라늄의 오염정도를 분석하기 위하여 콘크리트로 이루어진 공장부지 내 지표면에서 20 포인트 각각 상, 하단을 구분하여 총 40 개의 지표면 시료과 대기오염과 지표수 오염을 확인하기 위한 시료 15 개 등을 채취하여 산 침출법으로 우라늄을 용해하고 ICP-MS를 사용하여 우라늄(238)의 농도를 분석했다.

콘크리트, 토양 및 활성탄의 용액화를 위해 고온/고압 하에서 밀폐 용기 내의 시료와 산에 2450 MHz의 극초단파를 투과시켜 시료를 분해하는 밀폐형 극초단파 산분해 장치 (Closed-vessel microwave acid digestion system)를 사용하여 대부분 시료를 용액화 할 수 있다. 밀폐된 용기에서 용액화하면, 산과 시료가 반응하여 발생하는 가스로 인하여 산분해용기 내에 고압이 유지되기 때문에 시료 분해시 가스 발생량이 많은 유기물의 경우 시료양이 0.5 g 이하로 제한된다. 콘크리트 및 토양 등의 시료 분해시, 시료내의 탄산염 등으로 인해 과량의 가스가 발생하기 때문에 무기물임에도 불구하고 많은 양을 처리 할 수 없다. 시료 처리량이 제한적인 극초단파 산분해를 이용하는 것 보다 10-20 배 많은 양의 (5-10 g) 시료를 전처리할 수 있는 산 침출법을 사용하여 대상 원소를 분석하는 방법이 시료 내에 미량으로 존재하는 우라늄의 농도를 확인하기에 적합하다.

유도결합 플라즈마 질량분석기 (ICP-MS)의 예비실험 측정 결과를 토대로 활성탄, 콘크리트 및 토양 시료를 전처리하기에 적절한 실험조건을 확인 후 환경시료 5-10 g 정도를 취해 유리 비이커에 넣고 혼산 (질산과 염산)으로 침출 처리한 용액을 ICP-MS로 분석하였다.

대기 시료는 60 여 분간 20 L/min의 유속으로 약 1200 L의 공기를 통과시켜 채취한 에어샘플링 카트리지가 활성탄 약 24 g의 시료 내에 수 ppb 단위로 존재하는 것을 표. 1에 표시하였다. 이 결과를 통하여 공장 내 대기에서 우라늄의 확산은 없는 것으로 확인하였다.

지표수 시료는 공장 설비 중 공업용수 저장탑 3 군데와 인근 저수지 2 군데에서 채취한 시료의 분석 결과는 표. 2에 표시하였다. 최대 수십 ppb 단위의 우라늄(238)이 있는 것을 확인하였으며, 이는 미국 국립 기술표준원에서 권고하는 깨끗한 수질에 준함을 확인 할 수 있었다.

지표면 시료는 지표면의 오염 확인을 위해 선정된 20여 곳의 상, 하단을 구분하여 상단은 콘크리트 시료, 하단은 토양 시료를 채취하고 분석하였다. 기본적인 시료 형태에서 벗어나는 1, 7, 11, 16, 과 17 번 시료는 콘크리트 포장에 되어있지 않고 자갈이나 토양으로만 되어있어 상, 하단이 토양시료이다. 9번 시료의 경우는 시료채취 부근이 예전 공장보수 중 콘크리트 재포장을 한 기록이 있어서 콘크리트 지표면 상단에서 1 cm 두께로 절삭한 3 개 시편을 순서대로 9-1, 9-2, 와 9-3 상단이라 표시했고 지표면 상단 시료로 분석하였다.

시멘트 분석결과에서 나타난 우라늄(238)의 농도는 최고 0.2 ppm에 불과하며 이는 다음에 나타나는 토양 시료에 비해 우라늄(238) 농도가 미비함을 알 수 있다. 토양 시료의 바탕값으로 선택한 대전광역시 유성구에 위치한 충남대학교 자연과학대학 뒷산에서 채취한 시료의 우라늄(238) 농도가 2 ppm 정도 였다. 표. 4. 토양시료의 분석된 결과를 보면 우라늄(238) 농도 분포가 채취 위치마다 많은 변화를 보이고 있다. 그 중 우라늄(238) 농도가 최고 10 ppm에 가까운 시료들도 있다. NIST의 우라늄 분석결과에서도 대부분 2-4 ppm 정도의 우라늄 농도 분포를 보이고 있으나 일부 Inorganics in marine sediment에서 10 ppm과 Montana soil highly elevated traces에서 25 ppm의 농도를 나타내는 곳 있다. NIST의 CRM 분석결과와 비교하여 보았을 때 핵연료 물질 사용시설 내 감손 우라늄의 오염정도가 미비함을 알 수 있었다.

Table. 1. ²³⁸Uranium concentration in the air the samples.

Sample	Weight (g)	²³⁸ U Conc (µg/g)	RSD (%)	²³⁸ U activity (Bq/g)
Air-1	11.9347	0.0154	0.22	1.91E-04
Air-2	11.9071	0.0204	0.54	2.54E-04
Air-3	12.0610	0.0087	0.47	1.08E-04
Air-4	11.9987	0.0092	1.31	1.14E-04
Air-5	12.0453	0.0062	1.88	7.75E-05
Air-6	12.0314	0.0038	1.52	4.74E-05
Air-7	12.1036	0.0077	1.76	9.53E-05
Air-8	12.0370	0.0038	2.40	4.67E-05
Air-9	12.0093	0.0039	1.53	4.84E-05
Air-10	12.0198	0.0051	0.78	6.35E-05

Table. 2. ²³⁸Uranium concentration in surface water samples.

Sample	²³⁸ U Conc (µg/g)	RSD (%)	²³⁸ U activity (Bq/g)
Water-1	0.0335	2.77	4.17E-04
Water-2	0.0281	2.59	3.49E-04
Water-3	0.0057	1.43	7.11E-05
Water-4	0.020	0.38	2.49E-04
Water-5	0.006	1.75	7.43E-05

Table. 3. ²³⁸Uranium concentration in the cement in the soil samples.

Sample	²³⁸ U Conc (µg/g)	RSD (%)	²³⁸ U activity (Bq/g)
2-top	0.1634	2.66	2.03E-03
3-top	0.1316	3.23	1.64E-03
4-top	0.1347	0.74	1.68E-03
5-top	0.1707	2.65	2.11E-03
6-top	0.1135	1.88	1.41E-03
8-top	0.0382	2.20	4.75E-04
9-1 top	0.0568	0.89	7.06E-04
9-2 top	0.0285	1.36	3.54E-04
9-3 top	0.0331	0.28	4.11E-04
10-top	0.201	2.75	2.50E-03
12-top	0.2536	2.75	3.13E-03
13-top	0.1144	2.68	1.42E-03
14-top	0.1148	1.91	1.43E-03
15-top	0.0643	1.87	7.99E-04
18-top	0.0589	3.20	7.32E-04
19-top	0.0978	3.96	1.22E-03
20-top	0.0537	3.58	6.68E-04

Table. 4. ²³⁸Uranium concentration in the soil samples.

Sample	²³⁸ U Conc (µg/g)	RSD (%)	²³⁸ U activity (Bq/g)
1-top	2.9174	0.16	3.60E-02
1-bottom	2.5422	0.24	3.14E-02
2-bottom	0.1852	1.67	2.29E-03
3-bottom	0.2203	1.40	2.72E-03
4-bottom	0.1838	0.43	2.27E-03
5-bottom	0.212	1.85	2.62E-03
6-bottom	0.2239	1.61	2.76E-03
7-top	1.0759	1.04	1.33E-02
7-bottom	0.3681	1.63	4.55E-03
8-bottom	0.2119	1.08	2.62E-03
9-bottom	0.2029	0.45	2.50E-03
10-bottom	0.2078	1.27	2.56E-03
11-top	9.2068	1.53	1.14E-01
11-bottom	0.4535	0.94	5.60E-03
12-bottom	0.464	1.22	5.73E-03
13-bottom	0.4056	0.57	5.01E-03
14-bottom	0.5329	0.03	6.58E-03
15-bottom	0.0457	1.20	5.68E-04
16-top	9.9741	0.52	1.24E-01
16-bottom	5.7164	1.01	7.09E-02
17-top	4.0456	0.66	5.02E-02
17-bottom	0.7765	0.16	9.60E-03
18-bottom	0.0497	2.65	6.18E-04
19-bottom	0.2489	0.66	3.09E-03
20-bottom	0.1463	1.56	1.82E-03