

함께 만드는 완전히 새로운 경남

2021년 3월 환경 방사성물질 조사결과



경남보건환경연구원
(위 생 화 학 팀)

2021년 3월 환경 방사성물질 조사결과

- 도내 6종(공기/빗물/정수/원수/해수/갯벌) 10개 시료에 대한 조사결과 해수와 갯벌에서 ^{137}Cs 이 $<0.00125\sim0.00136\text{ Bq/L}$, $0.811\sim1.10\text{ Bq/kg}$ 로 정상범위 이내
 - 전국 해수 ^{137}Cs 정상범위 : $<0.00102\sim0.00243\text{ Bq/kg-dry}$ (KINS, '17년~'19년 자료)
 - 전국 해저퇴적물 ^{137}Cs 정상범위 : $<0.656\sim3.34\text{ Bq/kg-dry}$ (KINS, '17년~'19년 자료)
- 양산시 등산로 및 평지 토양 8개 시료를 조사한 결과 ^{137}Cs 이 $<0.587\sim17.1\text{ Bq/kg}$ 로 정상범위를 초과하였으나 문헌자료 이내
 - 전국 토양(평지) ^{137}Cs 정상범위 : $<0.495\sim15.8\text{ Bq/kg-dry}$ (KINS, '17년~'19년 자료)
 - 문헌자료(등산로) ^{137}Cs 정상범위 : $13.2\sim103.1\text{ Bq/kg-dry}$ ('14년 한국방사성폐기물학회)
- 해수와 토양, 갯벌 해수 이외 모든 시료는 ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs 불검출

1. 조사 기간 : '20. 3. 2. ~ 3. 31.

2. 조사 대상 : 7종 18건

- 공기시료 1종 1건
- 물시료 4종 7건(빗물 1, 정수 2, 원수 1, 해수 3)
- 토양 1종 8건(양산 8)
- 갯벌 1종 2건(거제 1, 남해 1)

3. 조사 현황

Table 1. 방사성물질 조사현황

구분	계획	실적			진도율 (%)	비고
		기누계	3월말	누계		
방사성물질 조사	220	28	18	46	20.9%	

4. 조사 내용 및 방법

Table 2. 방사성물질 조사(공기 및 빗물)

내 용	빗물	
채취 장소	서부청사 별관1층	빗물
채취 기간	3. 2. ~ 3. 29.	1. 29. ~ 3. 2.
채취 기구	저용적 공기포집기	빗물채집기
채취 수량	3,758 m ³	30 L
전 처 리	N/A	증발농축(30 L → 1 L)
계측 시간	8만초	
분석 핵종	41개 핵종	
시험 핵종	¹³¹ I, ¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs	
측정 결과	<ul style="list-style-type: none"> • 관련 규정 및 법령에서 제시한 기준 준수 여부 파악 • 방사성물질 분포경향 파악 	

Table 3. 먹는 물(양산시) 방사성물질 조사

구분	원수	정수
채취 지역	양산시	양산시
채취 장소	신도시취수장	신도시 및 범어 정수장
채취 일시	3. 15. 14:16	
채취 수량	20 L	1 L
전처리	증발농축(20 L → 1 L)	N/A
계측 시간	8만초	1만초
분석 핵종	41개 핵종(자연 및 인공)	7개 핵종(자연핵종, 인공핵종)
시험 핵종	¹³¹ I, ¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs	
측정 결과	<ul style="list-style-type: none"> • 관련 규정 및 법령에서 제시한 기준 준수 여부 파악 • 방사성물질의 분포 경향 파악 	

Table 4. 방사성물질 조사(해수)

내 용	해 수		
채취 장소	거제시	남해군	진해구
채취 기간	3. 11. 14:50	3. 11. 11:40	3. 2. 10:00
채취 기구	두레박	두레박	두레박
채취 수량	70 L	70 L	70 L
전 처 리	증발 · 농축(5 L → 1 L), AMP 공침(60 L)		
계측 시간	8만초		
분석 핵종	41개 핵종(자연핵종, 인공핵종)		
시험 핵종	^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs 외 다수 인공핵종		
측정 결과	<ul style="list-style-type: none"> • 관련 규정 및 법령에서 제시한 기준 준수 여부 파악 • 방사성물질의 분포 경향 파악 		

※ 해수의 증발 · 농축법과 AMP 공침법은 각각 ^{131}I 과 ^{134}Cs , ^{137}Cs 을 분석하기 위한 것임

Table 5. 토양 방사성물질 조사

구분	양산 토양(등산로 4개소, 평지 4개소)	
채취 지역	등산로(천성산, 오봉산, 금정산, 토곡산)	평지(원동자연휴양림, 웅상정수장, 삼호34근린공원, 금산근린공원)
채취 일시	3. 16. ~ 3. 19.	3. 16. ~ 3. 18.
채취 수량	3~5 kg	
전처리	건조(105 °C, 48시간) → 분쇄(믹서기) → 2 mm 체로 거른 후 계측	
계측 시간	2만초	
분석 핵종	41개 핵종(자연핵종, 인공핵종)	
시험 핵종	^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs	
측정 결과	<ul style="list-style-type: none"> • 관련 규정 및 법령에서 제시한 기준 준수 여부 파악 • 방사성물질의 분포 경향 파악 	

Table 6. 갯벌 방사성물질 조사

구분	갯벌(해저퇴적물)	
채취 지역	거제시	남해군
채취 일시	3. 11. 15:10	3. 11. 11:20
채취 수량	3~5 kg	
전처리	건조(105 °C, 48시간) → 분쇄(믹서기) → 2 mm 체로 거른 후 계측	
계측 시간	2만초	
분석 핵종	41개 핵종(자연핵종, 인공핵종)	
시험 핵종	^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs	
측정 결과	<ul style="list-style-type: none"> • 관련 규정 및 법령에서 제시한 기준 준수 여부 파악 • 방사성물질의 분포 경향 파악 	

5. 방사성물질 조사 결과

5. 1 공기 시료

서부청사 별관 1층에 설치한 저용적 공기포집기를 이용하여 약 한달간(3월 2일~3월 29일) 동안 공기 시료 3,758 m³ 포집함. 포집한 공기시료에 대한 방사성물질 조사를 수행한 결과 ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs 등의 주요 인공 방사성물질은 검출되지 않았고, 자연 방사성물질인 ⁷Be, ⁴⁰K, ²¹²Pb, ²³⁵U 등이 각각 0.00332±0.0000534 Bq/m³, 0.00123±0.0000617 Bq/m³, 0.000169±0.0000100 Bq/m³, 0.0000637±0.00000483 Bq/m³로 검출되어 공기 시료의 경우 인공 방사성물질에 의한 영향은 없는 것으로 판단함.

또한, ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs 등의 방사성물질은 원자력안전위원회 고시 제2017-17호에 제시된 MDA 기준치를 만족하였기 때문에 계측결과에 대한 신뢰도에는 확보된 것으로 판단하였고, 분석 결과는 아래의 Table 7에 제시하였음.

5. 2 빗물 시료

서부청사 별관 1층에 설치한 빗물채집기를 이용하여 약 1개월(1.29~3.2) 동안 포집한 빗물 시료 총 30 L에 대한 검사를 수행한 결과 ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs 등의 주요 인공 방사성물질과 ⁷Be, ⁴⁰K 등의 자연 방사성물질이 전혀 검출되지 않음. 이러한 조사결과에 근거하여 빗물의 경우 인공 방사성물질에 의한 영향은 없는 것으로 판단함.

또한, ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs 등의 방사성물질은 원자력안전위원회 고시 제2017-17호에 제시된 MDA 기준치를 만족하였기 때문에 계측결과에 대한 신뢰도에는 확보된 것으로 판단하였고, 분석 결과는 아래의 Table 7에 제시하였음.

Table 7. 공기 및 빗물 분석 결과

순서	분석 핵종	고시2017-17호 MDA	공기(Bq/m ³)	고시2017-17 MDA	빗물
1	⁷ Be	없음	0.00332±0.0000534	없음	<0.0298
2	⁴⁰ K	없음	0.00123±0.0000617	없음	<0.0815
3	⁵¹ Cr	5E-03	<1.15E-4	1	<0.0420
4	⁵⁴ Mn	8E-05	<1.71E-5	0.5	<0.00276
5	⁵⁷ Co	없음	<1.11E-5	없음	<0.00540
6	⁵⁸ Co	3E-04	<1.52E-5	0.05	<0.00326
7	⁵⁹ Fe	5E-04	<2.95E-5	0.03	<0.00711
8	⁶⁰ Co	8E-05	<1.75E-5	0.02	<0.00564
9	⁶⁵ Zn	5E-04	<3.39E-5	0.05	<0.00587
10	⁸⁵ Sr	없음	<3.43E-5	없음	<0.00472
11	⁸⁸ Kr	없음	<2.30E-5	없음	<35.5
12	⁸⁸ Y	없음	<1.59E-5	없음	<0.00491
13	⁹⁵ Zr	5E-04	<2.59E-5	0.5	<0.00813
14	⁹⁵ Nb	5E-04	<1.53E-5	0.5	<0.00335
15	¹⁰¹ Rh	없음	<1.48E-5	없음	<0.00454
16	¹⁰³ Ru	없음	<1.31E-5	없음	<0.00347
17	¹⁰⁶ Rh	없음	<3.88E-6	없음	<0.0274
18	¹⁰⁹ Cd	없음	<3.51E-4	없음	ND
19	^{110m} Ag	없음	<1.40E-5	없음	<0.00310
20	¹¹³ Sn	없음	<1.71E-5	없음	<0.00642
21	¹³¹ I	5E-02	<2.68E-5	0.1	<0.00413
22	¹³³ Xe	없음	<3.45E-5	없음	<0.0160
23	^{133m} Xe	없음	<1.25E-5	없음	<0.0478
24	¹³⁴ Cs	8E-05	<1.47E-5	0.008	<0.00271
25	¹³⁷ Cs	8E-05	<1.53E-5	0.008	<0.00345
26	¹³⁹ Ce	없음	<1.31E-5	없음	ND
27	¹⁴⁰ Ba	0.1	<3.21E-5	10	<0.0126
28	¹⁴⁰ La	0.1	<5.13E-5	10	<0.00607
29	¹⁴¹ Ce	없음	<2.29E-5	없음	<0.00697
30	¹⁴³ Ce	없음	<3.65E-5	없음	<0.0130
31	¹⁴⁴ Ce	없음	<9.83E-5	없음	<0.0246
32	²⁰⁸ Tl	없음	<1.53E-5	없음	<0.00530
33	²¹² Bi	없음	<2.15E-4	없음	<0.0478
34	²¹² Pb	없음	0.000169±0.0000100	없음	<0.0788
35	²¹⁴ Bi	없음	<4.38E-5	없음	<0.0142
36	²¹⁴ Pb	없음	<2.64E-5	없음	<0.0133
37	²²⁶ Ra	없음	<4.03E-5	없음	<0.107
38	²²⁷ Th	없음	<8.93E-5	없음	<0.0263
39	²²⁸ Ac	없음	<2.63E-4	없음	<0.805
40	²³⁵ U	없음	0.0000637±0.00000483	없음	<0.0296
41	²³⁷ U	없음	<6.53E-5	없음	<0.0326

1. ⁷Be(베릴륨), ⁴⁰K(칼륨), ²¹²Pb(납), ²³⁵U(우라늄)은 자연 방사성물질로 특별한 관리가 필요하지 않음
2. MDA(Minimum Detectable Activity)는 최소검출방사능임
3. < : 방사성물질 농도 MDA 이하, ND(Not Detection, 계측하였으나 검출되지 않음)

5. 3 먹는물(원수 및 정수)

2021년 3월에 양산시에서 조사의뢰한 방사선비상계획구역 내·외부의 신도시 취수장 원수와 신도시 및 범어 정수장 정수에 대한 방사능조사를 수행함. 조사결과 정수, 원수 시료에서 ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs 등의 주요 인공 방사성물질 모두 불검출. 자연 방사성물질은 ^{40}K , ^{212}Pb , ^{228}Ac , ^{235}U 등이 각각 $<6.63\sim 10.6\text{ Bq/L}$, $0.690\pm 0.0609\text{ Bq/L}$, $12.8\pm 2.23\text{ Bq/L}$, $0.0264\pm 0.00183\text{ Bq/L}$ 로 검출됨. 이러한 조사결과에 근거하여 3월 먹는물의 경우 고리원전 및 기타 인공 방사성물질에 의한 영향은 없는 것으로 판단하였고, 상세한 결과는 아래 Table 8에 수록함.

Table 8. 양산시 먹는물(관원) 조사결과(Bq/L)

순서	분석핵종	고시2017-17호 MDA	원수 (신도시취수장)	정수 (신도시정수장)	정수 (범어정수장)	비고
1	⁷ Be	없음	<0.0372	<1.75	<2.88	원수 · 원자력안전위원회고시 2017-17호 MDA 적용 정수 · WHO Guideline 적용 - WHO 기준치 ¹³¹ I, ¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs 각 10 Bq/L · MDA 기준 없음
2	⁴⁰ K	없음	0.352±0.0165	10.6±0.887	<6.63	
3	⁵¹ Cr	1	<0.0348	NA	NA	
4	⁵⁴ Mn	0.5	<0.00411	NA	NA	
5	⁵⁷ Co	없음	<0.00538	NA	NA	
6	⁵⁸ Co	0.05	<0.00504	NA	NA	
7	⁵⁹ Fe	0.03	<0.00899	NA	NA	
8	⁶⁰ Co	0.02	<0.00504	NA	NA	
9	⁶⁵ Zn	0.05	<0.00931	NA	NA	
10	⁸⁵ Sr	없음	<0.00562	NA	NA	
11	⁸⁸ Kr	없음	<0.0821	NA	NA	
12	⁸⁸ Y	없음	<0.00447	NA	NA	
13	⁹⁵ Zr	0.5	<0.00694	NA	NA	
14	⁹⁵ Nb	0.5	<0.00480	NA	NA	
15	¹⁰¹ Rh	없음	<0.00563	NA	NA	
16	¹⁰³ Ru	없음	<0.00439	<0.263	<0.415	
17	¹⁰⁶ Rh	없음	<0.0348	NA	NA	
18	¹⁰⁹ Cd	없음	<0.167	NA	NA	
19	^{110m} Ag	없음	<0.00448	NA	NA	
20	¹¹³ Sn	없음	<0.00530	NA	NA	
21	¹³¹ I	0.1	<0.00530	<0.341	<0.553	
22	¹³³ Xe	없음	<0.0219	NA	NA	
23	^{133m} Xe	없음	<0.0767	NA	NA	
24	¹³⁴ Cs	0.008	<0.00383	<0.194	<0.284	
25	¹³⁷ Cs	0.008	<0.00470	<0.337	<0.358	
26	¹³⁹ Ce	없음	<0.00501	NA	NA	
27	¹⁴⁰ Ba	10	<0.0167	NA	NA	
28	¹⁴⁰ La	10	<0.0213	NA	NA	
29	¹⁴¹ Ce	없음	<0.00984	NA	NA	
30	¹⁴³ Ce	없음	<0.0294	NA	NA	
31	¹⁴⁴ Ce	없음	<0.0394	NA	NA	
32	²⁰⁸ Tl	없음	<0.00805	NA	NA	
33	²¹² Bi	없음	<0.0674	NA	NA	
34	²¹² Pb	없음	0.690±0.0609	NA	NA	
35	²¹⁴ Bi	없음	<0.0127	NA	NA	
36	²¹⁴ Pb	없음	<0.00921	NA	NA	
37	²²⁶ Ra	없음	<0.152	NA	NA	
38	²²⁷ Th	없음	<0.0342	NA	NA	
39	²²⁸ Ac	없음	12.8±2.23	NA	NA	
40	²³⁵ U	없음	0.0264±0.00183	NA	NA	
41	²³⁷ U	없음	<0.0399	NA	NA	
42	²⁴¹ Am	없음	NA	<2.53	<2.92	

1. ⁴⁰K(칼륨)과 ²³⁵U(우라늄)은 자연 방사성물질로 특별한 관리가 필요하지 않음
2. MDA(Minimum Detectable Activity)는 최소검출방사능임
3. < : 방사성물질 농도 MDA 이하, NA(Not Available, 계측하지 않음)

5. 4 해수 시료

2021년 3월에 거제시 남부면 다대어촌체험마을과 남해군 설천면 어촌체험마을, 진해구 해군교육사령부에서 각각 70 L의 해수를 채취함. 채취한 시료 중 5 L는 ^{131}I 을 분석하기 위해 5 L에서 1 L로 증발·농축하였고, 나머지 65 L 중 60 L는 ^{134}Cs , ^{137}Cs 등을 분석하기 위해 AMP(인몰리브덴산암모늄) 공침법을 이용하여 전처리를 수행함.

전처리 후 감마핵종분석기를 이용하여 3건의 해수를 조사한 결과 ^{131}I , ^{134}Cs 등의 인공 방사성물질은 검출되지 않았고, ^{137}Cs 이 $<0.00125\sim 0.00136\text{ Bq/L}$ 로 검출됨. 해수에서 검출된 ^{137}Cs 농도는 KINS에서 최근 3년간(2017년~2019년) 전국 해수를 분석한 후 제시한 $<0.00102\sim 0.00243\text{ Bq/L}$ 범위에 포함되었고, 해수에서 ^{137}Cs 이 검출되었지만 환경에서 ^{137}Cs 과 거동특성이 유사한 ^{134}Cs 가 검출되지 않아 과거 핵실험에 의한 방사능 낙진에 의한 영향이라 판단함. 자연 방사성물질의 경우 ^{40}K , ^{235}U 등이 각각 $0.233\sim 0.249\text{ Bq/L}$, $<0.00807\sim 0.00518\text{ Bq/L}$ 로 검출됨.

이러한 분석결과에 근거하여 3월 해수시료의 경우 고리 및 후쿠시마 원전에 의한 영향과 인공방사성물질에 의한 영향은 없는 것으로 판단하였으며, 자세한 분석결과는 아래 Table 9에 제시함. Table 9에서 보이듯이 모든 핵종에서 원자력 안전위원회고시 제2017-17호 제시된 MDA(최소검출방사능) 요건을 만족하였기 때문에 계측 및 분석 결과에 대한 신뢰도는 확보된 것으로 판단함.

Table 9. 해수 분석결과(Bq/L)

순서	핵종	고시2017-17호 MDA	거제시	남해군	진해구
1	⁷ Be	없음	<0.00873	<0.0107	<0.0149
2	⁴⁰ K	없음	0.247±0.00737	0.233±0.00761	0.249±0.00666
3	⁵¹ Cr	0.05	<0.009858	<0.0126	<0.00964
4	⁵⁴ Mn	0.005	<0.00111	<0.00113	<0.000100
5	⁵⁷ Co	없음	<0.000861	<0.00115	<0.00974
6	⁵⁸ Co	0.005	<0.00106	<0.00117	<0.00105
7	⁵⁹ Fe	0.005	<0.00234	<0.00288	<0.00235
8	⁶⁰ Co	0.005	<0.00125	<0.00116	<0.00131
9	⁶⁵ Zn	0.02	<0.00253	<0.00272	<0.00237
10	⁸⁵ Sr	없음	<0.000409	<0.00169	<0.00141
11	⁸⁸ Kr	없음	<0.0170	<0.0188	<0.0172
12	⁸⁸ Y	없음	<0.00124	<0.00145	<0.00122
13	⁹⁵ Zr	0.006	<0.00203	<0.00202	<0.00196
14	⁹⁵ Nb	0.006	<0.00150	<0.00131	<0.000813
15	¹⁰¹ Rh	없음	<0.00113	<0.00119	<0.00108
16	¹⁰³ Ru	없음	<0.00108	<0.00168	<0.00231
17	¹⁰⁶ Rh	없음	<0.00853	<0.00959	<0.00896
18	¹⁰⁹ Cd	없음	<0.0259	<0.0232	<0.0255
19	^{110m} Ag	없음	<0.00109	<0.00113	<0.00108
20	¹¹³ Sn	없음	<0.00120	<0.00157	<0.00113
21	¹³¹ I	0.1	<0.0205	<0.0261	<0.0202
22	¹³³ Xe	없음	<0.00567	<0.00736	<0.0576
23	^{133m} Xe	없음	<0.0596	<0.105	<0.0616
24	¹³⁴ Cs	0.003	<0.00100	<0.00109	<0.000911
25	¹³⁷ Cs	0.003	0.00136±0.000224 (<0.00110)	<0.00133	<0.00125
26	¹³⁹ Ce	없음	<0.00102	ND	<0.000985
27	¹⁴⁰ Ba	0.1	<0.0285	<0.00735	<0.0583
28	¹⁴⁰ La	0.1	<0.00518	<0.0347	<0.00518
29	¹⁴¹ Ce	없음	<0.00195	<0.00213	<0.00192
30	¹⁴³ Ce	없음	<0.0555	<0.119	<0.0587
31	¹⁴⁴ Ce	없음	<0.00741	<0.00591	<0.00744
32	²⁰⁸ Tl	없음	<0.00186	<0.00177	<0.00187
33	²¹² Bi	없음	<0.0160	<0.0162	<0.0157
34	²¹² Pb	없음	<0.00342	<0.00460	<0.00342
35	²¹⁴ Bi	없음	<0.00346	<0.00532	<0.00293
36	²¹⁴ Pb	없음	<0.00214	<0.00486	<0.00205
37	²²⁶ Ra	없음	<0.0299	<0.0245	<0.0283
38	²²⁷ Th	없음	<0.00823	<0.0105	<0.00820
39	²²⁸ Ac	없음	<0.0194	<0.0201	<0.0194
40	²³⁵ U	없음	0.00510±0.000360	<0.00807	0.00518±0.000352
41	²³⁷ U	없음	<0.00840	<0.0117	<0.00764

1. ⁴⁰K(칼륨), ²²⁶Ra(라듐), ²³⁵U(우라늄)은 자연 방사성물질로 특별한 관리가 필요하지 않음
2. MDA(Minimum Detectable Activity)는 최소검출방사능임
3. < : 방사성물질 농도 MDA 이하, ND(Not Detection, 계측하였으나 검출되지 않음)

5. 5 토양

2021년 3월에 고리원전 주변 지역인 양산시의 평지 및 등산로에서 총 8건의 표층토양을 채취한 후 방사성물질 조사를 수행함. 조사결과 주요 인공 방사성물질인 ^{131}I 와 ^{134}Cs 는 모든 토양에서 검출되지 않았고, ^{137}Cs 이 총 8건의 토양에서 $<0.587\sim 17.1$ Bq/kg-dry로 나타남. 최고값은 금정산 토양에서 나타났고, 조사 결과는 Table 10~Table 11에 수록함. 금정산 이외 모든 토양에서 검출된 ^{137}Cs 농도는 KINS에서 최근 3년간(2017년~2019년) 전국 토양을 분석한 후 제시한 불검출~15.8 Bq/kg-dry 범위에 포함됨. 금정산 토양이 전국 평상범위를 초과하였으나 문헌자료¹⁾ 이내로 나타남.

토양에서 ^{137}Cs 이 검출되었지만 환경에서 ^{137}Cs 과 거동특성이 유사한 ^{134}Cs 가 검출되지 않아 과거 핵실험에 의한 방사능 낙진에 의한 영향이라 판단함. 모든 핵종이 원자력안전위원회 고시 제2017-17호에서 제시한 MDA(최소검출방사능) 기준을 만족하여 분석결과에 대한 신뢰도는 확보된 것으로 판단함.

자연 방사성물질의 경우 ^7Be , ^{40}K , ^{212}Pb , ^{226}Ra , ^{227}Th , ^{228}Ac , ^{235}U 등이 검출되었고, 이들 핵종의 농도 범위는 각각 $<3.81\sim 13.8$ Bq/kg-dry, $350\sim 1,161$ Bq/kg-dry, $<1.21\sim 140,980$ Bq/kg-dry, $<14.3\sim 78.3$ Bq/kg-dry, $<3.48\sim 5.30$ Bq/kg-dry, $<2.32\sim 8,398$ Bq/kg-dry, $<4.15\sim 3.82$ Bq/kg-dry로 나타남. 자연 핵종 중 납(^{212}Pb , 반감기 10.6시간)과 악티늄(^{228}Ac , 반감기 6.2시간)은 토륨(^{232}Th)의 계열 붕괴 핵종으로 모든 토양에 존재하는 ^{232}Th 평균 농도는 6 ppm으로 ^{238}U (평균 2.3 ppm)에 비해 약 2.6배 정도 많아²⁾ 분포경향 파악을 위해 선정함. ^{212}Pb 과 ^{228}Ac 조사결과 농도는 각각 $<1.21\sim 140,980$ Bq/kg-dry, $<2.32\sim 8,398$ Bq/kg-dry로 높게 나타남. ^{212}Pb 과 ^{228}Ac 는 짧은 반감기로 오차가 크지만 인체에 미치는 영향이 적어 문제없을 것으로 판단함. 연구결과에 의하면³⁾ PET(양성자단층촬영) 검사 시 단 반감기 핵종을 사용할 경우 검사시간이 길어질수록 오차가 증가하여 반감기 보정 외에 추가 보정이 필요한 것으로 조사됨. 또한 피폭선량 평가 자료조사에 의하면⁴⁾ 옥외 활동으로 인한 국내 지각방사선의 연간 피폭선량은(0.11 mSv) 국내 연간 자연방사선량(2.99 mSv)의 3.68 %로 상당히 적음. 0.11 mSv는 모든

1) 문헌자료: $132\sim 103.1$ Bq/kg-dry("14년도 한국방사성폐기물학회 지형 및 지질에 따른 ^{137}Cs 분포 및 거동에 관한 연구)

2) 원자력안전위원회·한국원자력안전기술원 생활주변방사선 정보 서비스

3) 홍건철외 단 반감기 핵종을 이용한 PET 검사 시 영상 획득 시간에 따른 정량성 평가, Journal Nuclear Medical Technology Vol. 16. No.1, April 2012

4) 감마선에 의한 국내 지각방사선(옥외)의 연간 피폭선량(0.11 mSv/yr)은 자연방사선량(2.99 mSv/yr)의 3.68%(한양대학교, 국민 피폭선량 종합 DB 구축, 2005년)

자연 핵종으로부터 방출된 감마선을 조사한 것으로 검출된 ^{212}Pb 과 ^{228}Ac 만을 대상으로 선량을 평가할 경우 0.11 mSv보다 상당히 적을 것으로 판단되고, 도민에게 미치는 영향 또한 미미할 것으로 사료됨.

3월 토양시료의 경우 ^{131}I 와 ^{134}Cs 등의 인공 핵종이 검출되지 않아 고리 및 후쿠시마 원전에 의한 영향은 없는 것으로 판단하였으며, Table 10~Table 11에서 보이듯이 모든 핵종에서 원자력안전위원회고시 제2017-17호 제시된 MDA(최소 검출방사능) 요건을 만족하였기 때문에 계측 및 분석 결과에 대한 신뢰도는 확보된 것으로 판단함.

Table 10. 양산시 등산로 토양 분석결과(Bq/kg-dry)

순서	핵종	고시2017-17호 MDA	천성산	오봉산	토곡산	금정산
1	^7Be	없음	6.70 ± 0.857	< 4.19	< 4.99	< 4.62
2	^{40}K	없음	388 ± 4.41	471 ± 4.62	580 ± 5.58	461 ± 4.92
3	^{51}Cr	15	< 4.28	< 4.28	< 5.13	< 4.79
4	^{54}Mn	2	< 0.531	< 0.489	< 0.684	< 0.557
5	^{57}Co	없음	< 0.411	< 0.454	< 0.615	< 0.474
6	^{58}Co	2	< 0.452	< 0.487	< 0.537	< 0.484
7	^{59}Fe	5	< 0.958	< 0.993	< 1.13	< 1.06
8	^{60}Co	2	< 0.612	< 0.626	< 0.707	< 0.500
9	^{65}Zn	5	< 0.999	< 1.11	< 1.21	< 0.829
10	^{85}Sr	없음	< 0.483	< 0.480	< 0.550	< 0.490
11	^{88}Kr	없음	< 2.75	< 2.90	< 3.48	< 3.10
12	^{88}Y	없음	< 0.473	< 0.475	< 0.594	< 0.271
13	^{95}Zr	5	< 0.933	< 0.980	< 1.16	< 1.04
14	^{95}Nb	5	< 0.571	< 0.570	< 0.669	< 0.642
15	^{101}Rh	없음	< 0.592	< 0.611	< 0.724	< 0.667
16	^{103}Ru	없음	< 0.473	< 0.463	< 0.558	< 0.455
17	^{106}Rh	없음	< 3.68	< 3.77	< 4.57	< 3.49
18	^{109}Cd	없음	< 21.1	< 21.6	< 26.3	ND
19	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	없음	< 0.468	< 0.469	< 0.585	< 0.422
20	^{113}Sn	없음	< 0.621	< 0.587	< 0.754	< 0.628
21	^{131}I	3	< 0.688	< 0.663	< 0.780	< 0.692
22	^{133}Xe	없음	< 3.37	< 3.34	< 3.62	< 3.93
23	$^{133\text{m}}\text{Xe}$	없음	< 20.7	< 18.2	< 16.6	< 22.9
24	^{134}Cs	5	< 0.381	< 0.436	< 0.537	< 0.476
25	^{137}Cs	5	13.1 ± 0.214 (< 0.492)	2.68 ± 0.122 (< 0.482)	2.87 ± 0.142 (< 0.595)	17.1 ± 0.262 (< 0.694)
26	^{139}Ce	없음	< 0.482	< 0.507	< 0.620	ND
27	^{140}Ba	70	< 2.17	< 2.11	< 2.36	< 1.84
28	^{140}La	70	< 7.68	< 6.52	< 5.17	< 2.90
29	^{141}Ce	없음	< 0.972	< 0.983	< 1.21	< 1.01
30	^{143}Ce	없음	< 15.3	< 12.7	< 9.55	< 17.6
31	^{144}Ce	없음	< 3.67	< 3.90	< 4.59	< 3.52
32	^{208}Tl	없음	< 1.44	< 1.49	< 1.94	< 0.563
33	^{212}Bi	없음	< 24.7	< 25.6	< 30.9	< 28.6
34	^{212}Pb	없음	$140,980 \pm 134$	$86,910 \pm 718$	$34,160 \pm 220$	$113,230 \pm 1200$
35	^{214}Bi	없음	< 1.52	< 1.65	< 2.23	< 1.18
36	^{214}Pb	없음	< 0.989	< 0.950	< 1.21	< 1.19
37	^{226}Ra	없음	41.6 ± 2.92	53.2 ± 2.96	78.3 ± 3.60	ND
38	^{227}Th	없음	< 4.32	4.27 ± 0.805	5.30 ± 0.937	< 5.05
39	^{228}Ac	없음	< 2.42	< 2.81	< 3.21	< 2.32
40	^{235}U	없음	2.07 ± 0.206	2.02 ± 0.214	2.78 ± 0.261	3.82 ± 0.719
41	^{237}U	없음	< 7.59	< 6.17	< 7.82	< 7.77

1. ^7Be (베릴륨), ^{40}K (칼륨), ^{226}Ra (라듐), ^{227}Th (토륨), ^{235}U (우라늄)은 자연 방사성물질로 특별한 관리가 필요하지 않음
2. MDA(Minimum Detectable Activity)는 최소검출방사능임
3. < : 방사성물질 농도 MDA 이하, ND(Not Detection, 계측하였으나 검출되지 않음)

Table 11. 양산시 평지 토양 분석결과(Bq/kg-dry)

순서	핵종	고시2017-17호 MDA	웅상정수장	삼호34근린공원	금산근린공원	원동자연휴양림
1	⁷ Be	없음	13.8±1.68	<3.81	<4.82	<5.27
2	⁴⁰ K	없음	350±4.30	417±4.92	713±5.98	1,161±7.24
3	⁵¹ Cr	15	<3.92	<3.37	<3.78	<6.83
4	⁵⁴ Mn	2	<0.466	<0.482	<0.498	<0.609
5	⁵⁷ Co	없음	<0.458	<0.466	<0.525	<0.800
6	⁵⁸ Co	2	<0.454	<0.438	<0.519	<0.595
7	⁵⁹ Fe	5	<0.361	<0.934	<1.08	<1.16
8	⁶⁰ Co	2	<0.433	<0.610	<0.432	<0.868
9	⁶⁵ Zn	5	<1.12	<1.05	<1.20	<1.51
10	⁸⁵ Sr	없음	<0.533	<0.264	<0.469	<0.666
11	⁸⁸ Kr	없음	<2.94	<2.58	<2.95	<3.63
12	⁸⁸ Y	없음	<2.29	<0.476	<0.272	<0.596
13	⁹⁵ Zr	5	<0.984	<0.882	<0.853	<1.28
14	⁹⁵ Nb	5	<0.576	<0.519	<0.623	<0.736
15	¹⁰¹ Rh	없음	<0.651	<0.559	<0.548	<0.728
16	¹⁰³ Ru	없음	<0.229	<0.407	<0.438	<0.575
17	¹⁰⁶ Rh	없음	<3.30	<3.14	<3.42	<4.10
18	¹⁰⁹ Cd	없음	ND	<18.7	ND	ND
19	^{110m} Ag	없음	<0.425	<0.446	<0.462	<0.608
20	¹¹³ Sn	없음	<0.433	<5.06	<0.578	<0.860
21	¹³¹ I	3	<0.577	<0.471	<0.892	<0.889
22	¹³³ Xe	없음	<2.52	<2.08	<4.41	<4.12
23	^{133m} Xe	없음	<8.20	<6.57	<29.2	<20.1
24	¹³⁴ Cs	5	<0.451	<0.383	<0.464	<0.529
25	¹³⁷ Cs	5	3.55±0.146 (<0.575)	0.723±0.0928 (<0.443)	<0.587	<0.712
26	¹³⁹ Ce	없음	ND	<0.452	ND	ND
27	¹⁴⁰ Ba	70	<2.06	<1.70	<2.00	<1.88
28	¹⁴⁰ La	70	<1.17	<1.85	<5.86	<2.64
29	¹⁴¹ Ce	없음	<0.750	<0.832	<1.08	<1.25
30	¹⁴³ Ce	없음	<3.20	<2.63	<22.2	<12.2
31	¹⁴⁴ Ce	없음	<2.94	<3.48	<4.12	<4.11
32	²⁰⁸ Tl	없음	<0.600	<1.30	<0.588	<0.714
33	²¹² Bi	없음	<28.4	<22.7	<29.4	<36.0
34	²¹² Pb	없음	874±8.59	672±7.11	<1.21	40,557±303
35	²¹⁴ Bi	없음	<1.55	<1.63	<1.66	<2.00
36	²¹⁴ Pb	없음	<1.09	<0.870	<1.32	<1.41
37	²²⁶ Ra	없음	<14.3	36.1±2.78	54.3±3.12	<18.3
38	²²⁷ Th	없음	<4.38	<3.48	5.03±0.953	<5.60
39	²²⁸ Ac	없음	8,398±198	6,406±174	<3.13	<3.49
40	²³⁵ U	없음	<4.15	2.20±0.195	<4.16	<5.03
41	²³⁷ U	없음	<5.56	<5.04	<8.25	<8.51

1. ⁷Be(베릴륨), ⁴⁰K(칼륨), ²²⁶Ra(라듐), ²³⁵U(우라늄)은 자연 방사성물질로 특별한 관리가 필요하지 않음
2. MDA(Minimum Detectable Activity)는 최소검출방사능임
3. < : 방사성물질 농도 MDA 이하, ND(Not Detection, 계측하였으나 검출되지 않음)

5. 6 갯벌(해저퇴적물)

2021년 3월에 남해군 설천면의 문항어촌체험마을과 거제시 남부면에 위치한 다대어촌체험마을에서 각각 1건씩 해안선퇴적물인 갯벌을 채취한 후 방사성물질 조사를 수행함. 조사결과 갯벌의 ^{137}Cs 농도 범위는 0.811~1.10 Bq/kg-dry로 나타났고, 한국원자력안전기술원에서 최근 3년간(2017년~2019년) 전국 해저퇴적물을 분석한 후 제시한 <0.656~3.34 Bq/kg-dry 범위 내에 포함됨. 2건의 갯벌에서 ^{137}Cs 이 검출되었지만 환경에서 ^{137}Cs 과 거동특성이 유사한 ^{134}Cs 가 검출되지 않아 과거 핵실험에 의한 방사능 낙진에 의한 영향이라 판단함. 또한, 모든 핵종이 원자력안전위원회 고시 제2017-17호의 MDA(최소검출방사능) 기준을 만족하였기 때문에 분석결과에 대한 신뢰도는 확보된 것으로 판단함. 상세한 조사결과는 아래 Table 12에 수록함

자연 방사성물질의 경우 ^7Be , ^{40}K , ^{212}Pb , ^{226}Ra 등이 검출되었고, 이들 핵종의 농도 범위는 각각 6.55~13.7 Bq/kg-dry, 515~783 Bq/kg-dry, 8,609~69,879 Bq/kg-dry, <10.3~33.0 Bq/kg-dry로 나타남. 자연 핵종 중 납(^{212}Pb , 반감기 10.6시간)은 토륨(^{232}Th)의 계열붕괴 핵종으로 모든 토양에 존재하는 ^{232}Th 평균 농도는 6 ppm으로 ^{238}U (평균 2.3 ppm)에 비해 약 2.6배 정도 많아⁵⁾ 분포경향 파악을 위해 선정함. ^{212}Pb 조사결과 농도는 8,609~69,879 Bq/kg-dry로 높게 나타남. ^{212}Pb 은 짧은 반감기로 오차가 크지만 인체에 미치는 영향이 적어 문제 없을 것으로 판단함. 연구결과에 의하면⁶⁾ PET(양성자단층촬영) 검사 시 단 반감기 핵종을 사용할 경우 검사시간이 길어질수록 오차가 증가하여 반감기 보정 외에 추가 보정이 필요한 것으로 조사됨. 또한 피폭선량 평가 자료조사에 의하면⁷⁾ 옥외 활동으로 인한 국내 지각방사선의 연간 피폭선량은(0.11 mSv) 국내 연간 자연방사선량(2.99 mSv)의 3.68 %로 상당히 적음. 0.11 mSv는 모든 자연 핵종으로부터 방출된 감마선을 조사한 것으로 검출된 ^{212}Pb 만을 대상으로 선량을 평가할 경우 0.11 mSv보다 상당히 적을 것으로 판단되고, 도민에게 미치는 영향 또한 미미할 것으로 사료됨.

3월 해저퇴적물의 경우 ^{131}I 와 ^{134}Cs 등의 인공 핵종이 검출되지 않아 고리 및 후쿠시마 원전에 의한 영향은 없는 것으로 판단하였으며, Table 12에서 보이듯이

5) 원자력안전위원회·한국원자력안전기술원 생활주변방사선 정보 서비스

6) 홍건철외 단 반감기 핵종을 이용한 PET 검사 시 영상 획득 시간에 따른 정량성 평가, Journal Nuclear Medical Technology Vol. 16. No.1, April 2012

7) 감마선에 의한 국내 지각방사선(옥외)의 연간 피폭선량(0.11 mSv/yr)은 자연방사선량(2.99 mSv/yr)의 3.68%(한양대학교, 국민 피폭선량 종합 DB 구축, 2005년)

모든 핵종에서 원자력안전위원회고시 제2017-17호 제시된 MDA(최소검출방사능) 요건을 만족하였기 때문에 계측 및 분석 결과에 대한 신뢰도는 확보된 것으로 판단함.

Table 12. 갯벌 분석결과(Bq/kg-dry)

순서	핵종	고시2017-17호 MDA	남해군	거제시	비고
1	⁷ Be	없음	6.55±0.799	13.7±0.72	
2	⁴⁰ K	없음	783±5.75	515±4.62	
3	⁵¹ Cr	15	<3.41	<3.52	
4	⁵⁴ Mn	2	<0.419	<0.318	
5	⁵⁷ Co	없음	<0.564	<0.315	
6	⁵⁸ Co	2	<0.466	<0.360	
7	⁵⁹ Fe	5	<0.832	<0.782	
8	⁶⁰ Co	2	<0.414	<0.481	
9	⁶⁵ Zn	5	<1.25	<1.03	
10	⁸⁵ Sr	없음	<0.501	<0.426	
11	⁸⁸ Kr	없음	<2.66	<2.10	
12	⁸⁸ Y	없음	<0.136	<0.127	
13	⁹⁵ Zr	5	<0.838	<0.747	
14	⁹⁵ Nb	5	<0.550	<0.427	
15	¹⁰¹ Rh	없음	<0.594	<0.477	
16	¹⁰³ Ru	없음	<0.414	<0.245	
17	¹⁰⁶ Rh	없음	<2.78	<2.23	
18	¹⁰⁹ Cd	없음	ND	ND	
19	^{110m} Ag	없음	<0.308	<0.300	
20	¹¹³ Sn	없음	<0.205	<0.351	
21	¹³¹ I	1.5	<0.587	<0.572	
22	¹³³ Xe	없음	<3.34	<2.39	
23	^{133m} Xe	없음	<19.3	<11.4	
24	¹³⁴ Cs	5	<0.399	<0.347	
25	¹³⁷ Cs	5	1.10±0.108 (<0.514)	0.811±0.0890 (<0.430)	
26	¹³⁹ Ce	없음	ND	ND	
27	¹⁴⁰ Ba	70	<3.31	<1.78	
28	¹⁴⁰ La	70	<2.34	<1.03	
29	¹⁴¹ Ce	없음	<0.946	<0.744	
30	¹⁴³ Ce	없음	<13.0	<0.598	
31	¹⁴⁴ Ce	없음	<2.86	<2.18	
32	²⁰⁸ Tl	없음	<0.615	<0.687	
33	²¹² Bi	없음	<26.9	<20.1	
34	²¹² Pb	없음	69,879±796	8,609±134	
35	²¹⁴ Bi	없음	<1.34	<1.08	
36	²¹⁴ Pb	없음	<0.994	<0.791	
37	²²⁶ Ra	없음	33.0±2.77	<10.3	
38	²²⁷ Th	없음	<4.25	<3.30	
39	²²⁸ Ac	없음	<2.25	<2.28	
40	²³⁵ U	없음	<3.77	<3.02	
41	²³⁷ U	없음	<6.88	<4.90	

1. ⁷Be(베릴륨), ⁴⁰K(칼륨), ²²⁶Ra(라듐), ²³⁵U(우라늄)은 자연 방사성물질로 특별한 관리가 필요하지 않음
2. MDA(Minimum Detectable Activity)는 최소검출방사능임
3. < : 방사성물질 농도 MDA 이하, ND(Not Detection, 계측하였으나 검출되지 않음)