

원자력시설주변 환경방사선 평가
Environmental Radiation Monitoring
Around the Nuclear Facilities

KAERI



제 출 문

원자력안전위원회 위원장 귀하

이 보고서를 “원자력시설주변 환경방사선 평가” 과제의 연구보고서로 제출합니다.

2017년 3월 31일

주관연구기관명 한국원자력연구원

주관연구책임자 정 근 호

연 구 원 강 문 자 최 근 식
조 영 현 김 원 영
이 완 로 지 영 용
임 종 명 김 현 철
장 미 고 영 건
김 창 종 임 교 선
박 두 원 박 효 국
최 상 도 김 은 한
정 해 선



보고서 요약서

과제고유번호	522220-16	해당단계 연구기간	2015.1.~2017.12.	단계구분			
연구사업명	중사업명	주요사업					
	세부과제명	원자력안전성 선도기술개발 기반확보					
연구과제명	대과제명	원자력 방사선 환경방호사업					
	세부과제명	원자력시설주변 환경방사선 평가					
연구책임자	정근호	해당단계 참여 연구원수	총	13.35명	해당단계 연구비	정부	1,821,880 천원
			내부	13.35명		기업	천원
			외부	0명		계	1,821,880 천원
		총연구기간 참여 연구원수	총	38.97명	총연구비	정부	5,509,141 천원
			내부	38.72명		기업	천원
			외부	0.25명		계	천원
연구기관명 및 소속부서명	한국원자력연구원 환경방사능평가실			참여기업명			
국제공동연구	상대국명 :		상대국 연구기관명 :				
위탁연구	연구기관명 : 충남대학교		연구책임자 : 이진홍				
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내로 작성합니다.)			보고서 면수	170 p.			
<p>대덕 원자력이용시설과 서울 연구용원자로시설 부지 반경 30 km 이내 지역에 대해 공간감마선량률 측정과 환경시료에 대한 방사능 분석을 실시하였다. 대덕 원자력이용시설과 서울 연구용원자로시설의 부지 및 주변의 공간감마선량률은 전년도와 비슷한 수준을 보였고, 전알파, 삼중수소, 우라늄 및 스트론튬-90 등 환경방사능 농도는 모든 시료에 있어서 평상시 변동범위 내에서 유지되고 있었다. 다만, 일부 빗물 시료의 전베타 방사능농도가 환경요인에 의해 일시증가 보고되었다. 감마동위원소의 경우 자연방사성핵종인 ⁴⁰K 또는 ⁷Be를 제외한 대부분의 인공방사성핵종의 농도가 MDA 이하로 나타났다. 대덕 원자력이용시설의 경우 표층토양 및 하천토양 시료에서 ¹³⁷Cs 이 일부 검출되었고 서울 연구용원자로시설의 경우 지표수 시료에서 ¹³¹I이 표층토양 시료에서 ¹³⁷Cs가 일부 검출되었다. 평상시 변동범위 수준으로 검출된 ¹³⁷Cs의 방사능 준위는 1960 ~ 1970년대 실시된 대기권 핵실험에 의한 전 지구적인 오염에 의한 것으로 판단된다. 한편, 원자력이용 시설 운영으로 주변 주민에 대한 최대 유효선량은 0.000320 mSv/yr로 평가되었는데 이는 일반인에 대한 법적선량한도 (1 mSv/yr) 및 부지 기준치 (0.25 mSv/yr) 보다 훨씬 낮은 값으로 주변 주민의 방사선에 의한 영향 거의 없는 것으로 판단된다. 본 연구의 환경방사선 감시 및 방사능 농도 조사 결과로부터 조사기간 동안 원자력이용시설의 운영으로 인한 부지 및 주변 환경에 대한 변화는 일어나지 않은 것으로 판단된다.</p>							
색인어 (각 5개 이상)	한글	공간감마선량률, 전알파, 전베타, 삼중수소, 우라늄, 스트론튬-90, 감마동위원소, 환경방사능분석, 원자력시설, 기상관측, 주민선량평가					
	영어	exposure dose rate, gross alpha, gross beta, tritium, uranium, strontium-90, gamma radionuclide, environmental radioactivity analysis, nuclear facility, meteorology, dose assessment					



요 약 문

I. 제 목

원자력시설주변 환경방사선 평가

1. 대덕 원자력이용시설 주변 환경방사선 감시
2. 서울 연구용원자로시설 주변 환경방사선 감시

II. 운영의 목적 및 필요성

원자력이용시설 주변에 대한 방사선환경 조사 및 평가를 수행하는 본 과제의 목적은 원자력 이용시설의 운영으로 인해 시설 주변 주민이 받게 되는 방사선량이 연간 선량한도 이내로 유지되고 있는지를 확인함으로써 주민의 건강과 안전을 확보하고, 시설 주변 환경의 방사능 오염을 사전에 예방하며, 시설로부터 예기치 않은 방사성물질의 배출에 의한 주변 환경 변화의 영향을 판단할 수 있는 기초 자료를 확보하고 평가능력을 제고하는데 있다. 또한, 원자력이용시설 주변 환경을 지속적이고 과학적으로 조사, 평가하여 원자력에 대한 국민의 올바른 이해를 구하고 안정적 연구 환경을 조성하고자 과제를 수행하고 있다. 방사선환경 조사 및 평가의 구체적 조사 목적은 원자력이용시설 주변 주민의 방사선량 추정 및 평가, 환경에서 방사성 물질의 축적경향 평가, 원자력이용시설로부터 예기치 않은 방사성 물질 배출로 인한 주변 환경의 영향 유무 평가 등이다.

또한 다목적 연구용원자로인 ‘하나로’를 비롯하여 원자력이용시설을 운영하는 운영자로서 원자력안전법 제104조 (환경보전)의 1항, 원자력안전법 시행규칙 제136조 (방사선환경 조사 및 평가), 원자력안전위원회 고시 제2014-12호 (원자력이용시설 주변의 방사선환경조사 및 방사선환경영향평가)를 근거로 방사선환경조사계획을 수립하여 정부로부터 승인 받아 이를 수행하여 그 결과를 정기적으로 정부에 보고해야 하는 의무도 지니고 있다.

본 과제는 원자력안전위원회 고시 제2014-12호를 기본으로 하여 원자력이용시설의 건설 및 운영 인허가 시 제출된 방사선환경조사계획서에 따라 원자력이용시설 주변 환경의 안전성 확보를 위해 지속적으로 대덕 부지의 ‘하나로’와 관련 원자력이용시설 그리고 서울 연구용원자로 시설 주변에 대한 환경방사선 감시를 실시하고 있다.

III. 운영의 내용 및 범위

한국원자력연구원의 원자력이용시설 주변에 대한 환경방사선 감시는 대덕 원자력이용시설과 서울 연구용원자로시설의 부지 및 주변지역에서 이루어졌으며, 이들 지역에 대해 환경방사선 측정과 환경감시 대상 시료의 방사성핵종 분석을 실시하였다. 대덕 원자력이용시설의 공간감마선량률 측정은 환경방사선감시기 (Environmental Radiation Monitor, ERM)를 사용했으며, 이와 더불어 열형광선량계 (Thermoluminescent Dosimeter, TLD)를 이용하여 집적선량도 측정하였다.

공간감마선량률 측정은 부지 내의 6 개 지점과 비교지점 1 개 지점에서 환경방사선감시기를 이용하여 24 시간 실시간 연속측정하였으며, 열형광선량계를 이용한 집적선량 측정은 부지 내 37 개 지점과 주변지역 19 개 지점에서 실시하였다.

환경방사능 조사대상 시료는 공기 중 미립자, 방사성 옥소, 수분 및 낙진과 하천토양, 표층토양, 솔잎, 빗물, 지표수, 지하수, 곡류(쌀), 채소류(배추), 가금류(닭) 및 우유로 하고 이들 조사대상 시료의 채취빈도는 월별, 분기별 혹은 반기별, 수확기로 하였다. 이들 시료에 대한 방사성핵종 분석 항목은 전알파 방사능, 전베타 방사능, 우라늄 동위원소, 삼중수소, 스트론튬-90, 감마동위원소였다.

서울 연구용원자로시설 주변에 대한 환경조사는 3 개 지점에서 환경방사선감시기로 공간감마선량률을 측정하였고, 열형광선량계를 이용한 집적선량은 부지 내 9 개 지점과 주변지역 9 개 지점에서 실시하였다.

또한 환경조사 지역내에서 공기 중 미립자, 표층토양, 하천토양, 지표수, 지하수 시료를 월별, 분기별, 반기별로 채취하여 전베타 방사능, 삼중수소, 스트론튬-90, 감마동위원소를 분석하였다.

IV. 운영결과

2016년도 대덕 원자력이용시설 주변에 대한 방사선환경 감시 결과를 살펴보면, 부지 내의 6 개 지점에서 환경방사선감시기로 연중 연속 측정한 공간감마선량률은 연평균 112 nGy/h으로 전년도 평균치 113 nGy/h과 유사한 준위로 유지되고 있었다. 6개 조사 지점 중 연평균 94.2 nGy/h의 기상탑 지점이 가장 낮은 준위를 나타내었고, 하나로서쪽 지점이 연평균 142 nGy/h으로 가장 높게 측정되었다.

한편, 열형광선량계에 의한 집적선량 측정 결과는 부지 내에서 209 μ Gy/분기로 나타나 전년도의 212 μ Gy/분기와 유사한 준위를 나타내었으며, 주변지역에서는 202 μ Gy/분기로 전년도의 211 μ Gy/분기와 비슷한 수치를 보여 연도별 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

환경방사능 조사대상 시료에 대한 방사성핵종 분석결과는 공기 중 미립자의 전알파 방사능

은 부지 내 연평균 0.129 mBq/m³로 측정되어 전년도 0.122 mBq/m³과 비슷한 준위를 유지하였다.

전베타 방사능의 경우 공기 중 미립자에서 부지 내 연평균 농도가 1.11 mBq/m³로 측정되었으며, 정상시변동범위를 유지하고 있었다.

5 개 조사 지점에서 실시된 공기 중 수분의 삼중수소의 연평균 농도는 본관동동쪽 0.0286 Bq/m³, 독신료 0.0360 Bq/m³, 기상탑 0.0348 Bq/m³, 제3연구동 지점에서 0.0431 Bq/m³이 검출되었고 비교 지점인 연산주말농장 지점에서는 MDA 이하로 나타났다. 또한, 낙진의 전베타 방사능 농도는 기상탑 지점에서 33.7 Bq/m²-90days, 독신료 지점에서 38.1 Bq/m²-90days, 연산주말농장 지점에서 35.0 Bq/m²-90days로 측정되었다.

12 개 조사 지점에서 실시된 표층토양 시료의 스트론튬-90 농도 분석결과는 상반기에서 부지 내 0.191 Bq/kg-dry, 주변지역 0.167 Bq/kg-dry, 하반기에서 부지 내 0.170 Bq/kg-dry, 주변지역 0.144 Bq/kg-dry가 검출되었으며, 정상시변동범위를 유지하고 있었다.

표층토양 중 우라늄 조사의 경우 기상탑 지점에서 ²³⁸U 연평균 농도가 21.2 Bq/kg-dry, 덕진소류지 지점에서는 40.4 Bq/kg-dry가 검출되어 전년도와 유사한 준위를 유지하고 있었다.

연구원 부지 및 주변지역에서 채취된 하천토양에 대한 우라늄 (²³⁸U) 방사능 농도는 정문앞 배수구에서 38.1 Bq/kg-dry, 본관동쪽배수구에서 36.0 Bq/kg-dry로 검출되었고 주변지역인 배수구합류지점과 연산주말농장에서 연평균 농도가 40.5 Bq/kg-dry 및 37.9 Bq/kg-dry로 각각 검출되어 정상시변동범위를 유지하고 있었다.

빗물 시료에 대한 삼중수소의 연평균 농도는 본관동동쪽 2.50 Bq/L, 독신료 2.83 Bq/L, 기상탑 2.50 Bq/L, 제3연구동 지점은 3.64 Bq/L로 측정되었으며, 비교 지점인 연산주말농장 지점에서 MDA 이하의 값이었다.

빗물 시료 중 전베타 방사능의 연평균 농도는 부지 내 0.0672 Bq/L, 비교 지점인 연산주말농장 지점에서 0.0604 Bq/L로 측정되었으며, 11월 독신료 지점의 전베타 값이 3년 평균보다 5배 이상 높아 일시증가 보고되었다.

6개 조사 지점에서 실시된 지표수에 대한 삼중수소의 연평균 농도는 부지 내 3.18 Bq/L, 주변지역 3.02 Bq/L로 전년도와 비슷한 준위를 유지하였다. 한편, 동일지점에서 수행된 지표수에서의 전베타 방사능의 연평균 농도는 부지 내 0.0972 Bq/L, 주변지역 0.0859 Bq/L로 검출되어 전년도와 유사한 준위를 나타내었다.

지하수 시료의 삼중수소 농도는 보덕샘 지점, 동화울 지점 및 연산주말농장 지점에서 모두 MDA 이하로 나타났다. 지하수 시료 중 우라늄 방사능 조사는 연구원 부지 내 보덕샘 지점에서 실시하였다. 1/4 분기의 우라늄 (²³⁸U) 방사능 농도는 1,810 mBq/L, 2/4 분기에서 2,070 mBq/L, 3/4 분기에서 1,930 mBq/L, 4/4 분기에서 1,840 mBq/L가 검출되었다. 농산물 (배추)에 대한 스트론튬-90은 동화울 지점 MDA 이하, 구즉초등학교 지점 0.0120 Bq/kg-fresh, 연서면 주민센터 지점 MDA 이하, 연산주말농장 지점에서 MDA 이하의 값이었

다. 배추에 대한 삼중수소 농도 분석 결과는 4 개 조사 지점 모두 MDA 이하로 나타났다.

한편, 조사 대상 시료에 대한 감마동위원소 분석결과는 공기 중 미립자, 낙진, 솔잎, 농산물 및 축산물의 경우 자연 방사성 핵종인 ^{40}K 또는 ^7Be 이 검출되었으며 그 외의 인공 방사성 핵종 모두가 MDA 이하로 나타났다. 빗물의 경우 인공 방사성 핵종 모두가 MDA 이하로 나타났다. 다만, 표층토양, 하천토양에서 ^{137}Cs 이 일부 검출되었으며, 지하수에서는 모든 인공 방사성 핵종이 MDA 이하로 나타났다.

2016년도 서울 연구용원자로시설 주변의 경우 부지 내 3 개 지점에서 환경방사선감시기로 공간감마선량률을 측정하였다. 공간감마선량률은 2호기(MW) 동쪽 지점에서 연평균 122 nGy/h로 전년도의 123 nGy/h와 유사하였으며 2호기(MW) 서쪽 지점에서 연평균 108 nGy/h로 전년도의 111 nGy/h와 유사한 준위를 나타내었다. 1호기(KW) 서쪽 지점에서 연평균 120 nGy/h로 전년도의 118 nGy/h와 유사하였다. 열형광선량계에 의한 집적선량 연평균은 부지 내 225 $\mu\text{Gy}/\text{분기}$ 및 주변지역 230 $\mu\text{Gy}/\text{분기}$ 로 나타나 전년도와 유사한 준위로 유지되고 있었다.

환경방사능 조사대상 시료에 대한 방사성핵종 분석 결과는 공기 중 미립자의 경우 부지 내 전베타 방사능은 연평균 농도 1.25 mBq/m³로 평상시 변동 범위를 유지되고 있었다. 표층토양시료의 경우 스트론튬-90 방사능의 연평균 농도는 부지 내 상반기 0.208 Bq/kg-dry, 하반기 0.227 Bq/kg-dry, 전체 연평균 0.217 Bq/kg-dry로서 평상시변동범위를 유지하고 있었다. 지표수 시료에서는 전베타 방사능 연평균 농도는 주변지역 0.124 Bq/L 및 비교지점 0.229 Bq/L의 농도로 측정되어 전년도의 0.106 Bq/L 및 0.335 Bq/L와 유사한 준위를 유지하였다. 삼중수소의 경우 서울과학기술대학연못 지점 및 광운대학교 지점 모두 MDA 이하로 나타났으며, 지하수 시료에서도 보일러건물 지점에서 MDA 이하로 나타났다.

조사 대상 시료에 대한 감마동위원소 분석결과는 대덕 원자력이용시설 지역과 마찬가지로 공기 중 미립자에서는 자연 방사성핵종인 ^7Be 이 전년도 준위로 검출되었으며 그 외의 모든 인공 방사성핵종은 모두 MDA 이하로 나타났다. 지하수에서는 인공핵종 모두 MDA이하로 나타났다. 다만, 표층토양, 하천토양, 지표수의 경우 자연 방사성 핵종인 ^{40}K 또는 ^7Be 과 함께 ^{137}Cs 또는 ^{131}I 이 평상시변동범위 내에서 일부 검출되었다.

원자력이용시설 운영에 따른 주변 주민에 대한 예상 피폭선량은 0.000320 mSv/yr로 일반인에 대한 법적선량한도(1mSv/yr) 및 부지기준치(0.25 mSv/yr) 보다 낮게 평가 되어 주변 주민의 안전에 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다.

본 연구에서 살펴본 것처럼 한국원자력연구원의 원자력이용시설 및 주변지역에 대한 2016년도 환경방사선 및 방사능 조사 자료를 검토한 결과 원자력시설 운영으로 인한 주변 환경의 오염 및 변화추이는 없었으며, 방사능 물질의 축적현상은 발견되지 않았다.

SUMMARY

I. Project Title

Environmental Radiation Monitoring Around the Nuclear Facilities.

1. The environmental radiation monitoring on the site of KAERI nuclear facilities and their environs.
2. The environmental radiation monitoring on the site of Seoul research reactors and their environs.

II. Objective and Importance of the Project

Purposes and importance of the environmental radiation monitoring around the nuclear facilities are as follows:

- 1) To confirm that the surrounding environment is not changed by the operation of nuclear facilities.
- 2) To know the tendencies of accumulation of radioactive materials in the environment.
- 3) To obtain the public confidence by opening of the monitoring results.

III. Scope and Contents of Project

The environmental radiation monitoring was carried out broadly for the following:

- 1) Measurements of the environmental radiation

Environmental radiation dose was measured by a continuous environmental radiation monitor (ERM) in the sites. And the accumulated radiation dose was measured by thermoluminescent dosimeter (TLD).

- 2) Analyses of the environmental radioactivity

The environmental radioactivity on gross alpha and gross beta, Uranium, Tritium, Strontium, and gamma-radionuclides were analyzed routinely in the

various samples such as air particulate, iodine air filter, air moisture, soil, sediment, pine needle, rainwater, surface water, underground water, fallout, farm products, and livestock products.

IV. Result of Project

The results of environmental radiation monitoring in Daedeok-site are as follows:

The annual average level of the on-site environmental radiation dose measured by an Environment Radiation Monitor (ERM) was 112 nGy/h, which was similar comparing with 113 nGy/h of the previous year. The annual average of quarterly accumulated radiation dose was 209 μ Gy/quarter in the site, which was similar to 212 μ Gy/quarter of the previous year.

The radioactivity of gross alpha in air particulate in the site was 0.129 mBq/m³. The radioactivity of gross beta in environmental samples such as air particulate, surface water, rainwater, fallout were obtained from the monitoring. The average radioactivity of gross beta in the site were 1.11 mBq/m³ in air particulate and 0.0972 Bq/L in surface water, respectively. The average concentration of the on-site of strontium in soil was 0.208 Bq/kg-dry at the first half and 0.227 Bq/kg-dry at the second half, respectively. In the analyses of gamma-radionuclides, natural radionuclides such as ⁴⁰K or ⁷Be were detected in air particulate, pine needle and food. But soil, sediment, surface water showed the concentration of ¹³⁷Cs of the similar level to the previous year. The radioactivity of ³H was detected in the rainwater, and was similar to radioactivity of the previous year.

The results of environmental radiation monitoring in the Seoul-site are as follows:

Environmental radiation dose was measured by a continuous ERM. The annual average levels of the on-site environmental radiation dose were 122 nGy/h in east point of the KRR-2 (MW), 108 nGy/h in west point of the KRR-2 (MW) and 120 nGy/h in west point of the KRR-1 (KW). The annual average of quarterly accumulated γ -radiation dose measured by a TLD was 225 μ Gy/quarter in on-site and 230 μ Gy/quarter in off-site. The annual average activity of on-site gross beta was 1.25 mBq/m³ in air particulate and that of gross beta of the surface water

from surrounding area was 0.124 Bq/L. The average on-site concentration of strontium in soil was 0.208 Bq/kg-dry at the first half and 0.227 Bq/kg-dry at the second half, respectively. And the radioactivities of tritium in surface water and underground water samples were less than MDA. In the analyses of gamma-radionuclides, the radioactivities of most gamma-radionuclides in air particulate were less than MDA except ^7Be which are natural radionuclide. But not only ^{40}K or ^7Be but also ^{137}Cs were detected at the background level in soil, sediment and surface water.



CONTENTS

SUMMARY	9
Chapter 1. Introduction	21
Chapter 2. Main subject	25
Section 1. Scope and method	27
1. Current status of the site and environmental radiation monitoring program	27
가. Site of Daedeok nuclear facilities	27
나. Site of Seoul research reactors	35
2. Monitoring method	40
가. Method of environmental radiation monitoring	40
나. Collection and pre-treatment method of samples	41
다. Measurement and analyses	43
라. Calibration	45
마. Quality control	52
Section 2. Result and discussion	55
1. Site of Daedeok nuclear facilities and its environs	55
가. Results of the investigation on the environmental radiation monitoring	55
나. Results of the investigation on the environmental radioactivity	57
2. Site of Seoul research reactors and its environs	71
가. Results of the investigation on the environmental radiation monitoring	71
나. Results of the investigation on the environmental radioactivity	72
3. Meteorology and atmospheric dispersion	78
4. Radiological dose assessment on environs	86
Chapter 3. Conclusion	105
Section 1. Site of Daedeok nuclear facilities and its environs	107
Section 2. Site of Seoul research reactors and its environs	107
Section 3. Radiological dose assessment on environs	108
Section 4. Conclusion	108
Chapter 4. References	109
Appendix	113

목 차

요약문	5
제1장 서론	21
제2장 본론	25
제1절 운영내용 및 방법	27
1. 부지현황 및 환경감시 프로그램	27
가. 대덕 원자력이용시설 부지	27
(1) 대덕 원자력이용시설 부지 현황	27
(2) 대덕 원자력이용시설 주변 환경감시 프로그램	27
나. 서울 연구용원자로시설 부지	35
(1) 서울 연구용원자로시설 부지 현황	35
(2) 서울 연구용원자로시설 주변 환경감시 프로그램	35
2. 환경감시 방법	40
가. 환경방사선 조사 방법	40
(1) 공간감마선량률 조사	40
(2) 집적선량 조사	41
나. 환경시료의 채취 및 전처리 방법	41
(1) 공기 중 미립자	41
(2) 공기 중 수분	41
(3) 낙진	41
(4) 표층토양	42
(5) 하천토양	42
(6) 솔잎	42
(7) 빗물	42
(8) 지표수	42
(9) 지하수	42
(10) 채소류	43
(11) 곡류	43
(12) 기타 환경시료	43
다. 방사능 계측 및 분석 방법	43

(1) 전알파/전베타 방사능	43
(2) 우라늄 방사능	44
(3) 삼중수소 방사능	44
(4) 스트론튬-90 방사능	44
(5) 감마동위원소	44
라. 환경 방사선 및 방사능 계측기의 교정	45
(1) 저준위 알파/베타 방사능 계측기 교정	45
(2) 열형광선량계 교정	47
(3) 감마 스펙트로메터의 교정	48
(4) 알파 스펙트로메터의 교정	49
(5) 액체섬광계수기의 교정	50
(6) 환경감시기(ERM)의 교정	51
마. 품질관리	52
(1) 시료채취 및 운송	52
(2) 시료 전처리	52
(3) 방사능 분석	53
(4) 조사자료의 해석 및 통계처리	54
(5) 조사결과 보고	54
제2절 운영결과 및 고찰	55
1. 대덕 원자력이용시설 부지 및 주변지역	55
가. 환경방사선 조사결과	55
(1) 공간감마선량률	55
(2) 집적선량	56
나. 환경방사능 조사결과	57
(1) 공기 중 미립자	57
(2) 공기 중 수분	58
(3) 낙진	59
(4) 표층토양	60
(5) 하천토양	62
(6) 솔잎	63
(7) 빗물	63
(8) 지표수	65
(9) 지하수	67
(10) 농산물	68

(11) 축산물	70
2. 서울 연구용원자로시설 부지 및 주변지역	71
가. 환경방사선 조사결과	71
(1) 공간감마선량률	71
(2) 집적선량	72
나. 환경방사능 조사결과	72
(1) 공기 중 미립자	72
(2) 표층토양	73
(3) 하천토양	74
(4) 지표수	75
(5) 지하수	76
3. 기상 및 대기 확산	78
가. 기상관측자료 수집	78
나. 기상관측자료 분석	78
4. 주민선량평가	86
가. 개요	86
나. 방사성물질의 환경배출	86
(1) 환경배출기준치	86
(2) 환경배출량	87
다. 주민선량 평가방법	90
(1) 인체 피폭경로	90
(2) 대기확산	90
라. 주민선량 평가결과	97
제3장 결 론	105
제1절 대덕 원자력이용시설 부지 및 주변지역	107
제2절 서울 연구용원자로시설 부지 내 및 주변지역	107
제3절 주민선량평가	108
제4절 결 론	108
제4장 참고문헌	109
부 록	113
[부록 1] 공간 감마선량률 및 환경방사능 농도 자료	115
[부록 2] 방사선/능 일시증가 보고 자료	166

표 목차

표 2-1. 원자력시설 주변 방사선환경 조사계획	28
표 2-2. 환경방사선감시기에 의한 공간감마선량률 조사계획 (대덕)	29
표 2-3. 열형광선량계에 의한 집적선량 조사계획 (대덕)	29
표 2-3. <계속> 열형광선량계에 의한 집적선량 조사계획 (대덕)	30
표 2-4. 육상시료의 환경방사능 조사계획 (대덕)	31
표 2-4. <계속> 육상시료의 환경방사능 조사계획 (대덕)	32
표 2-5. 환경방사선감시기에 의한 공간감마선량률 조사계획 (서울)	36
표 2-6. 열형광선량계에 의한 집적선량 조사계획 (서울)	36
표 2-7. 육상시료의 환경방사능 조사계획 (서울)	37
표 2-8. 저준위 알파베타계수기 교정 결과 및 자기흡수 보정 결과	46
표 2-9. 열형광선량계(TLD-100H)	47
표 2-10. 감마 스펙트로미터 교정 결과 (ORT#9)	48
표 2-11. 감마 스펙트로미터 교정 결과 (ORT#8)	48
표 2-12. 액체섬광계수기 교정결과(삼중수소, 스트론튬-90)	50
표 2-13. 환경방사선감시기 교정 결과	51
표 2-14. 2016년 국제, 국내 방사능 숙련도 시험 결과(IAEA, KINS)	53
표 3-1. 대기안정도의 연간 발생빈도의 연도별 추이	80
표 3-2. 풍속구간별 연간 발생빈도의 연도별 추이 (67m)	80
표 3-2. 계속 (27m)	81
표 3-2. 계속 (10m)	81
표 3-3. 풍향별 연간 발생빈도의 연도별 추이 (67m)	82
표 3-3. 계속 (27m)	82
표 3-3. 계속 (10m)	83
표 3-4. 풍향, 풍속의 연간통계값 (Annual statistics of wind direction and speed)	83
표 3-5. 기온의 연간 통계값 (Annual statistics of temperature)	84
표 3-6. 상대습도의 연간 통계값 (Annual statistics of relative humidity)	84
표 3-7. 일사, 기압, 강우, 시정의 연간 통계값	84

표 3-8. 풍향, 풍속, 대기안정도별 발생빈도 (Joint frequency distributions)	85
표 4-1. 환경상의 위해 방지를 위한 기준치	87
표 4-2. 기체상 배출물의 환경배출량	88
표 4-2. <계속>	89
표 4-3. 액체상 배출물의 환경배출량	89
표 4-4. 주요 지역에서 대기확산인자 및 침적인자 (하나로)	91
표 4-4. <계속> (한국원자력연구원 운영 기타 원자력관련시설)	92
표 4-4. <계속> (한국원자력연구원 운영 기타 원자력관련시설)	93
표 4-4. <계속> (한전원자력연료 운영시설)	94
표 4-4. <계속> (한국원자력환경공단 운영시설)	95
표 4-5. 최대 피폭지점의 대기확산인자 및 침적인자의 연도별 변화	96
표 4-6. 원자력시설당 설계기준치와의 비교 (mGy/yr 또는 mSv/yr)	98
표 4-6. <계속>	99
표 4-6. <계속>	100
표 4-6. <계속>	101
표 4-7. 부지 당 기준치와의 비교	102
표 4-8. 집단선량 결과의 비교	102



그림 목차

그림 2-1. 대덕 원자력이용시설 부지 내 지형도	33
그림 2-2. 대덕 원자력이용시설 주변지역 지형도	34
그림 2-3. 서울 연구용원자로시설 부지 내 지형도	38
그림 2-4. 서울 연구용원자로시설 주변지역 지형도	39
그림 2-5. 부지 내 공간감마선량률 및 기상 실시간 측정 지점	40
그림 2-6. 저준위 알파/베타계수기 자기흡수 보정 결과	45
그림 2-7. 열형광 계측시스템 교정 결과	47
그림 2-8. 알파 스펙트로메타의 에너지 보정 곡선	49
그림 2-9. 대덕 원자력시설 주변 공간감마선량률 (환경방사선감시기)	55
그림 2-10. 대덕 원자력시설 주변 집적선량 (열형광선량계)	56
그림 2-11. 대덕 원자력시설 주변 공기 중 미립자의 방사능 농도 (전알파)	57
그림 2-12. 대덕 원자력시설 주변 공기 중 미립자의 방사능 농도 (전베타)	58
그림 2-13. 대덕 원자력시설 주변 공기 중 수분의 방사능 농도 (삼중수소)	59
그림 2-14. 대덕 원자력시설 주변 낙진의 방사능 농도 (전베타)	60
그림 2-15. 대덕 원자력시설 주변 표층토양의 방사능 농도 (^{238}U)	61
그림 2-16. 대덕 원자력시설 주변 표층토양의 방사능 농도 (스트론튬-90)	61
그림 2-17. 대덕 원자력시설 주변 하천토양의 방사능 농도 (^{238}U)	63
그림 2-18. 대덕 원자력시설 주변 빗물의 방사능 농도 (삼중수소)	64
그림 2-19. 대덕 원자력시설 주변 빗물의 방사능 농도 (전베타)	65
그림 2-20. 대덕 원자력시설 주변 지표수의 방사능 농도 (삼중수소)	66
그림 2-21. 대덕 원자력시설 주변 지표수의 방사능 농도 (전베타)	67
그림 2-22. 대덕 원자력시설 주변 지하수의 방사능 농도 (삼중수소)	68
그림 2-23. 대덕 원자력시설 주변 농산물(배추)의 방사능 농도 (스트론튬-90)	69
그림 2-24. 대덕 원자력시설 주변 농산물(배추)의 방사능 농도 (삼중수소)	69
그림 2-25. TRIGA 연구로시설 주변 공간감마선량률 (환경방사선감시기)	71
그림 2-26. TRIGA 연구로시설 주변 집적선량 (열형광선량계)	72
그림 2-27. TRIGA 연구로시설 주변 공기 중 미립자의 방사능 농도 (전베타)	73

그림 2-28. TRIGA 연구로 시설 주변 표층토양의 방사능 농도 (스트론튬-90)	74
그림 2-29. TRIGA 연구로시설 주변 지표수의 방사능 농도 (전베타)	75
그림 2-30. TRIGA 연구로시설 주변 지표수의 방사능 농도 (삼중수소)	76
그림 2-31. TRIGA 연구로시설 주변 지하수의 방사능 농도 (삼중수소)	77
그림 3-1 연간 바람장미(Annual wind rose)	79
그림 4-1. 최근 3년간 기체상 배출물에 의한 부지 최대 피폭연령군의 유효선량	103
그림 4-2. 최근 3년간 액체상 배출물에 의한 부지 최대 피폭연령군의 유효선량	103





제1장

서론





원자력이용시설의 운영자는 주변 환경에 미치는 영향과 방사성물질의 거동 등에 대해 지속적인 조사평가를 수행하도록 원자력안전법에서 의무화하고 있다. 원자력이용시설을 운영하는 한국원자력연구원은 원자력안전법 제104조 (환경보전)의 1항, 원자력안전법 시행규칙 제136조 (방사선환경 조사 및 평가)에 의해 고시된 원자력안전위원회 고시 제2014-12호 (원자력이용시설 주변의 방사선환경조사 및 방사선환경영향평가)에 따라 원자력시설의 운영에 따른 주변 환경 변화여부를 추적하기 위해 환경방사선 감시를 철저히 수행하고 이를 분석하여 그 결과를 원자력안전위원회에 정기적인 보고하며 관련 자료를 확보하여야 한다. 아울러 환경방사선 감시내용을 공개하여 원자력의 올바른 이해와 불안감을 해소시켜 원자력에 대한 국민적 신뢰성 확보에도 노력을 기울여야 한다.

한국원자력연구원의 원자력이용시설로는 대덕 부지에는 다목적 연구용원자로인 '하나로'를 비롯하여 조사재시험시설, 조사후시험시설, 방사성폐기물처리시설, 연구용원자로 핵연료가공연구동 등이 운영되고 있으며, 서울 부지에는 연구용원자로 2기가 있으며 2호기는 해체가 완료되었으며 1기는 현재 해체중이다. 따라서 이러한 원자력이용시설 주변에 대한 환경방사선 감시를 지속적으로 실시하여 원자력시설의 운영에 따른 주변 환경의 이상 여부를 확인하고 예기치 않은 원자력시설의 사고 시 주변 환경에 대한 방사능 영향을 평가할 수 있는 기초 자료를 확보해 나가고 있다.

한국원자력연구원의 원자력이용시설 주변에 대한 환경방사선 감시는 "원자력이용시설 주변의 방사선환경조사 및 방사선환경영향평가에 관한 규정 (원자력안전위원회 고시 제2014-12호)을 기본으로 하여 원자력이용시설 건설 및 운영 인허가 시 제출된 방사선환경조사계획서에 의해 원자력시설 부지 및 주변 지역에 대하여 환경방사선과 환경시료에 대한 방사성핵종 분석을 실시하였다.

본 조사연구는 원자력이용시설의 운영으로 인하여 방사성 물질에 의한 환경변화와 환경오염의 우려가 없음을 입증하기 위한 것으로 다음과 같은 목적을 두고 실시하였다. 첫째, 한국원자력연구원이 운영하는 원자력이용시설 주변의 환경감시 자료를 확보하여 원자력시설 운영으로 인해 주변 환경 및 주민들의 장애가 없음을 입증하여 원자력시설에 대한 신뢰성 및 안전성을 확보하고, 둘째 원자력이용시설로부터 예기치 않은 방사성 물질의 배출로 환경오염이 발생할 경우 판단할 수 있는 기초 자료를 확보하는데 그 목적이 있다.



제2장

본 론

제1절 운영내용 및 방법

제2절 운영결과 및 고찰

KAERI



제1절 운영내용 및 방법

1. 부지현황 및 환경감시 프로그램

가. 대덕 원자력이용시설 부지

(1) 대덕 원자력이용시설 부지 현황

대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111에 위치하고 있는 한국원자력연구원의 원자력이용 시설은 다목적 연구용원자로인 ‘하나로’, 연구용원자로 핵연료가공시설, 조사재시험시설, 조사 후시험시설, 방사성폐기물처리시설 그리고 연구실험실 등이 운영되고 있다.

부지는 대전시가지의 북북서 방향 13 km, 유성의 북북동 방향 8 km 지점에 위치하고 있다. 부지 서남쪽 16 km 거리에 계룡산국립공원 (해발 845 m)이 위치하며, 부지 반경 8 km 이내에는 낮은 야산과 구릉지대, 반경 2 km 이내에는 북동쪽에 보덕봉 (263 m)과 남쪽에 적오산 (255 m)이 있다. 한편, 금강 본류가 부지의 동쪽으로부터 북서쪽으로 흐르는데 지류인 갑천과는 부지 북동쪽 약 5 km 지점에서 합류해 흐른다. 부지에서 배출되는 배수는 동화천을 따라 갑천으로 흘러들고 갑천이 금강에 합류함에 따라 금강수계로 유입되고 있다.

(2) 대덕 원자력이용시설 주변 환경감시 프로그램

대덕 원자력이용시설에 대한 방사선환경 조사평가는 부지 내와 주변지역을 구별하여 실시하였으며, 또한 방사선환경 조사평가는 환경방사선 및 환경방사능으로 구분하여 수행하였다. 환경방사선 조사는 공간감마선량률과 집적선량을 조사하였으며, 환경방사능 조사는 공기 중 미립자, 방사성옥소, 수분, 낙진과 하천토양, 표층토양, 솔잎, 지표수, 지하수, 빗물, 농산물, 축산물을 조사하였다. 대덕 원자력시설 주변에 대한 공간감마선량률 측정, 시료채취 지점, 환경방사능 측정항목 및 주기는 표 2-1, 표 2-2, 표 2-3, 표 2-4에 나타내었다. 또한, 대덕 원자력시설 부지 내, 주변지역의 지형도는 그림 2-1, 그림 2-2에 나타내었다.

공간감마선량률 측정은 공기 중 방사능 농도가 높을 곳으로 예상되는 곳과 인구밀집 지역, 주 풍하방향, 대기확산 인자를 고려하여 선정한 지점과 비교지점에서 측정하였고, 환경방사성 핵종 조사에서 공기 중 미립자 채취는 시설 주변의 지표면에서 공기 중 방사능 농도가 높을

곳으로 예상되는 서로 다른 방향의 지점에서, 토양 및 솔잎 채취는 반경 26 km 이내 인구밀집지역, 대기 확산 인자가 최대인 지역과 비교지점에서 하였다. 또 부지의 배출수가 흘러 나가는 동화천의 수계를 따라 하천수 및 하천토양을 채취하였다. 곡류, 채소류 및 가금류의 경우는 인구 분포와 농경상황을 고려하여 시료 채취 지점을 선정하였다.

표 2-1. 원자력시설 주변 방사선환경 조사계획

구분	환경매체		조사빈도	감시핵종	조사 지점 수 (대덕)		조사 지점 수 (서울)	
	조사대상	시료종류			부지 내	부지 밖	부지 내	부지 밖
육상	공기	미립자	월 1회 (연속채취)	전알파 방사능	5	1	-	-
				전베타 방사능			3	1
				감마동위원소				
		방사성 옥소	주 1회 (연속채취)	^{131}I	5	1	-	-
	수분	월 1회 (연속채취)	^3H	4	1	-	-	
	낙진	분기 1회 (연속채취)	전베타 방사능	2	1	-	-	
								감마동위원소
	토양	하천토양	분기 1회	^{238}U , ^{235}U , ^{234}U	2	2	-	-
				감마동위원소	2	2	1	1
		표층토양	년 2회	^{238}U , ^{235}U , ^{234}U	2	1	-	-
				^{90}Sr	7	5	3	1
	지표생물	솔잎	년 2회	감마동위원소	2	1	-	-
수	물	빗물	월 1회	^3H	4	1	-	-
				전베타 방사능				
		감마동위원소						
		지표수	월 1회	^3H	4	2	-	2
	지하수 (식수)	분기 1회	^{238}U , ^{235}U , ^{234}U	1	1	-	-	
			^3H	1	2	1	-	
	농산물	곡류 (쌀)	수확기	감마동위원소	-	4	-	-
		채소 (배추)	수확기	^3H	-	4	-	-
^{90}Sr								
축산물	가금류	년 2회	감마동위원소	-	2	-	-	
	우유	년 2회	감마동위원소	-	1	-	-	
방사선	환경 방사선		연속측정	공간감마선량률	6	1	3	-
			분기 1회	집적선량	37*	19	9	9

* 가연물처리시설 가동으로 인한 집적선량 조사 지점 3곳, 토양 조사 지점 2곳 추가

표 2-2. 환경방사선감시기에 의한 공간감마선량률 조사계획 (대덕)

번호	조사 지점		방위	거리(km)	조사시기	비 고
MPS-1	골프장북쪽	대전 유성구 덕진동	E	0.61	연속측정	부지 내
MPS-2	본관동동쪽	대전 유성구 덕진동	ES	0.89	"	"
MPS-3	기상탑	대전 유성구 덕진동	WS	0.49	"	"
MPS-4	독신료	대전 유성구 덕진동	SE	1.04	"	"
MPS-5	제3연구동	대전 유성구 덕진동	S	0.47	"	"
MPS-6	하나로 서쪽	대전 유성구 덕진동	WNW	0.34	"	"
MPS-7	연산주말농장	충남 논산시 연산면	SW	26.0	"	비교지점

표 2-3. 열형광선량계에 의한 집적선량 조사계획 (대덕)

번호	조사 지점		방위	거리(km)	조사시기 (월)	비 고
TL-1	핵연료가공동	대전 유성구 덕진동	SW	0.35	3, 6, 9, 12	부지 내
TL-2	조사후시험동	대전 유성구 덕진동	SE	0.20	"	"
TL-3	폐기물운영동	대전 유성구 덕진동	SE	0.33	"	"
TL-4	정련시설동	대전 유성구 덕진동	SES	0.32	"	"
TL-5	식당 앞	대전 유성구 덕진동	SE	0.66	"	"
TL-6	정문 앞	대전 유성구 덕진동	SES	0.79	"	"
TL-7	제5연구동	대전 유성구 덕진동	SES	0.72	"	"
TL-8	환경기술원 앞	대전 유성구 덕진동	S	0.69	"	"
TL-9	기상탑	대전 유성구 덕진동	SWS	0.49	"	"
TL-10	수송용기시험동	대전 유성구 덕진동	WSW	0.42	"	"
TL-11	액체폐기물증발시설	대전 유성구 덕진동	WNW	0.34	"	"
TL-12	고체폐기물 창고	대전 유성구 덕진동	E	0.07	"	"
TL-13	KNFC본관 뒤	대전 유성구 덕진동	NE	0.36	"	"
TL-14	경계초소(KNFC본관 뒤)	대전 유성구 덕진동	ENE	0.51	"	"
TL-15	MPS1(골프장북쪽)	대전 유성구 덕진동	ENE	0.61	"	"
TL-16	경계초소14(골프장 뒤)	대전 유성구 덕진동	E	0.71	"	"
TL-17	경계초소12(골프장 옆)	대전 유성구 덕진동	E	0.85	"	"
TL-18	집수포	대전 유성구 덕진동	ESE	0.85	"	"
TL-19	MPS2(본관동 동편)	대전 유성구 덕진동	SE	0.89	"	"
TL-20	정문 테니스장 옆	대전 유성구 덕진동	SE	0.81	"	"
TL-21	하나로 21	대전 유성구 덕진동	S	0.21	"	"
TL-22	하나로 22	대전 유성구 덕진동	SWS	0.25	"	"
TL-23	하나로 23	대전 유성구 덕진동	WS	0.25	"	"
TL-24	하나로 24	대전 유성구 덕진동	WSW	0.18	"	"
TL-25	하나로 25	대전 유성구 덕진동	WNW	0.19	"	"
TL-26	하나로 26	대전 유성구 덕진동	N	0.09	"	"
TL-27	하나로 27	대전 유성구 덕진동	N	0.04	"	"
TL-28	하나로 28	대전 유성구 덕진동	S	0.06	"	"
TL-29	하나로 29	대전 유성구 덕진동	E	0.14	"	"
TL-30	하나로 30	대전 유성구 덕진동	E	0.14	"	"
TL-31	하나로 31	대전 유성구 덕진동	SEE	0.22	"	"
TL-32	하나로 32	대전 유성구 덕진동	SE	0.23	"	"
TL-33	하나로 33	대전 유성구 덕진동	WS	0.18	"	"
TL-34	독신료	대전 유성구 덕진동	SES	1.04	"	"

표 2-3. <계속> 열형광선량계에 의한 집적선량 조사계획 (대덕)

번호	조사 지점		방위	거리(km)	조사시기(월)	비 고
TL-35	동화울	대전 유성구 관평동	S	1.5	3, 6, 9, 12	주변지역
TL-36	구즉초등학교	대전 유성구 봉산동	NNE	1.7	"	"
TL-37	기계연구원 앞	대전 유성구 신성동	SW	3.0	"	"
TL-38	대덕초등학교	대전 유성구 도룡동	SSE	4.5	"	"
TL-39	새일초등학교	대전 대덕구 덕암동	NEE	4.5	"	"
TL-40	(구)대동초등학교	대전 유성구 대동	NNE	6.0	"	"
TL-41	신탄진초등학교	대전 대덕구 석봉동	NEE	5.5	"	"
TL-42	국방과학연구소	대전 유성구 반석동	SSW	6.5	"	"
TL-43	외삼초등학교	대전 유성구 반석동	SSW	6.5	"	"
TL-44	목동초등학교	대전 중구 목동	SSE	10.5	"	"
TL-45	충남대학교	대전 유성구 궁동	SW	6.2	"	"
TL-46	법동주공아파트	대전 대덕구 법동	SE	7.5	"	"
TL-47	감성초등학교	충남 연기군 금남면	WWN	8.0	"	"
TL-48	덕송초등학교	대전 유성구 덕명동	SW	9.5	"	"
TL-49	대청댐 휴게소	충북 청원군 문의면	NEE	12.0	"	"
TL-50	연서면 주민센터	세종 연서면 성제리	NW	20.5	"	비교지점
TL-51	삼괴동 마을회관	대전 동구 삼괴동	SSE	21.5	"	"
TL-52	연산주말농장	충남 논산시 연산면	SW	26.0	"	"
TL-53	충북대 병원	충북 청주시 개신동	NNE	24.0	"	"
TL-54	가연물처리동북쪽*	대전 유성구 덕진동	WNW	0.43	"	부지 내
TL-55	가연물처리동서쪽*	대전 유성구 덕진동	WNW	0.45	"	"
TL-56	가연물처리동남쪽*	대전 유성구 덕진동	WNW	0.42	"	"

* 가연물처리시설 가동으로 인한 추가 조사 지점

표 2-4. 육상시료의 환경방사능 조사계획 (대덕)

조사대상	번호	조 사 지 점		방위	거리(km)	조사시기(월)	비 고
공기 중 미립자	AP-1	기상탑 MPS1(골프장 북쪽)	대전 유성구 덕진동	WS	0.49	매월	부지 내
	AP-2		대전 유성구 덕진동	E	0.61	"	"
	AP-3	MPS2(본관동동쪽) 독신료	대전 유성구 덕진동	ES	0.89	"	"
	AP-4		대전 유성구 덕진동	SE	1.04	"	"
	AP-5	하나로 서쪽	대전 유성구 덕진동	NWW	0.34	"	"
	AP-6	연산주말농장	충남 논산시 연산면	SW	26.0	"	비교지점
공기 중 방사성옥소	AI-1	기상탑	대전 유성구 덕진동	WS	0.49	매주	부지 내
	AI-2	MPS1(골프장북쪽)	대전 유성구 덕진동	E	0.61	"	"
	AI-3	MPS2(본관동동쪽)	대전 유성구 덕진동	ES	0.89	"	"
	AI-4	독신료	대전 유성구 덕진동	SE	1.04	"	"
	AI-5	하나로 서쪽	대전 유성구 덕진동	NWW	0.34	"	"
	AI-6	연산주말농장	충남 논산시 연산면	SW	26.0	"	비교지점
공기 중 수분	AM-1	기상탑	대전 유성구 덕진동	WS	0.49	매월	부지 내
	AM-2	독신료	대전 유성구 덕진동	SE	1.04	"	"
	AM-3	MPS2(본관동동쪽)	대전 유성구 덕진동	ES	0.89	"	"
	AM-4	제3연구동	대전 유성구 덕진동	S	0.47	"	"
	AM-5	연산주말농장	충남 논산시 연산면	SW	26.0	"	비교지점
공기 중 낙진	FO-1	기상탑	대전 유성구 덕진동	WS	0.49	3, 6, 9, 12	부지 내
	FO-2	독신료	대전 유성구 덕진동	SE	1.04	"	"
	FO-3	연산주말농장	충남 논산시 연산면	SW	26.0	"	비교지점
하천 토양	WS-1	정문앞 배수구※	대전 유성구 덕진동	SES	0.92	3, 6, 9, 12	부지 내
	WS-2	본관동쪽 배수구※	대전 유성구 덕진동	SE	0.87	"	"
	WS-3	배수구합류지점※	대전 유성구 덕진동	S	1.13	"	주변지역
	WS-4	연산주말농장※	충남 논산시 연산면	SW	26.0	"	비교지점
표층 토양	S-1	기상탑※	대전 유성구 덕진동	SWS	0.49	3월, 9월	부지 내
	S-2	KNFC본관 뒤 2	대전 유성구 덕진동	NE	0.42	"	"
	S-3	집수포	대전 유성구 덕진동	ESE	0.85	"	"
	S-4	MPS2(본관동동쪽)	대전 유성구 덕진동	SE	0.89	"	"
	S-5	독신료	대전 유성구 덕진동	SES	1.04	"	"
	S-6	덕진소류지※	대전 유성구 덕진동	NWW	0.63	"	"
	S-7	하나로 23	대전 유성구 덕진동	WS	0.25	"	"
	S-8	구죽초등학교	대전 유성구 봉산동	NNE	2.0	"	주변지역
	S-9	기계연구원 앞	대전 유성구 신성동	SW	3.3	"	"
	S-10	새일초등학교	대전 대덕구 덕암동	NEE	4.5	"	"
	S-11	대청댐휴게소	충북 청원군 문의면	NEE	12.0	"	"
	S-12	연산주말농장※	충남 논산시 연산면	SW	26.0	"	비교지점
	S-13	가연물처리동북쪽*	대전 유성구 덕진동	WNW	0.43	"	부지 내
	S-14	가연물처리동남쪽*	대전 유성구 덕진동	WNW	0.42	"	"

※ 우리농동위원회 분석지점

* 가연물처리시설 가동으로 인한 추가 조사 지점

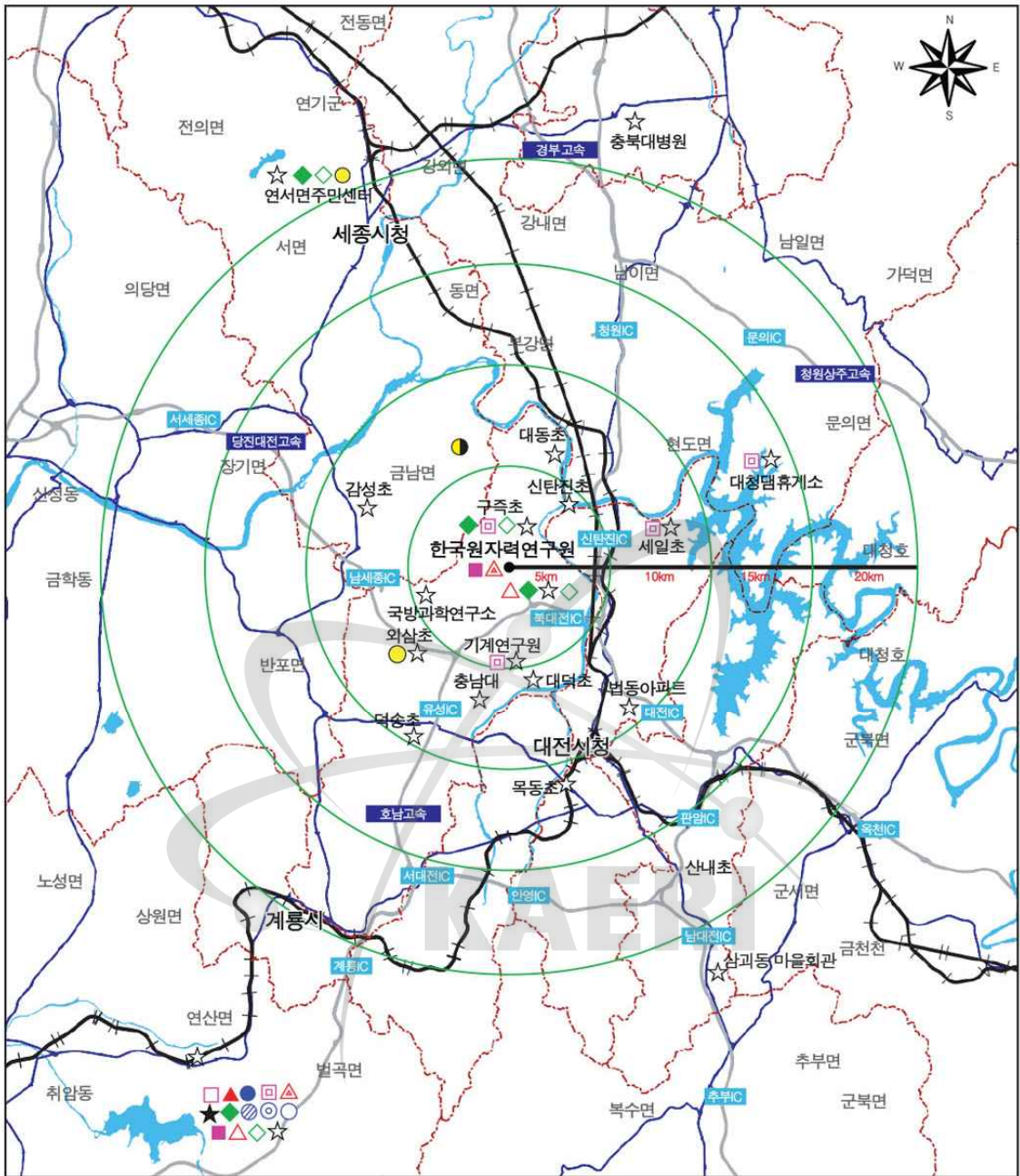
표 2-4. <계속> 육상시료의 환경방사능 조사계획 (대덕)

조사대상	번호	조사 지점		방위	거리(km)	조사시기(월)	비 고
솔잎	P-1	MPS2(본관동동쪽) 기상탑 연산주말농장	대전 유성구 덕진동	SE	0.89	3월, 9월	부지 내
	P-2		대전 유성구 덕진동	SWS	0.49	"	"
	P-3		충남 논산시 연산면	SW	26.0	"	비교지점
빛물	RN-1	독신료 기상탑 MPS2(본관동동쪽) 제3연구동 연산주말농장	대전 유성구 덕진동	SE	1.04	매월	부지 내
	RN-2		대전 유성구 덕진동	WS	0.49	"	"
	RN-3		대전 유성구 덕진동	ES	0.89	"	"
	RN-4		대전 유성구 덕진동	S	0.47	"	"
	RN-5		충남 논산시 연산면	SW	26.0	"	비교지점
지표수	SW-1	정문앞배수구 본관동편배수구 오페수처리장앞 덕진소류지 배수구합류지점 연산주말농장	대전 유성구 덕진동	SES	0.92	매월	부지 내
	SW-2		대전 유성구 덕진동	SE	0.87	"	"
	SW-3		대전 유성구 덕진동	ESS	0.73	"	"
	SW-4		대전 유성구 덕진동	NWW	0.63	"	"
	SW-5		대전 유성구 덕진동	S	1.13	"	주변지역
	SW-6		충남 논산시 연산면	SW	26.0	"	비교지점
지하수	UW-1	보덕샘※ 동화울 연산주말농장※	대전 유성구 덕진동	ESE	0.59	3, 6, 9, 12	부지 내
	UW-2		대전 유성구 관평동	S	1.5	"	주변지역
	UW-3		충남 논산시 연산면	SW	26.0	"	비교지점
곡류 (쌀)	R-1	동화울 둔곡동 연서면 주민센터 연산주말농장	대전 유성구 관평동	S	1.5	수확기	주변지역
	R-2		대전 유성구 둔곡동	NNW	4.4	"	"
	R-3		세종 연서면 성제리	NW	20.5	"	비교지점
	R-4		충남 논산시 연산면	SW	26.0	"	"
채소류 (배추)	V-1	동화울 둔곡동 연서면 주민센터 연산주말농장	대전 유성구 관평동	S	1.5	수확기	주변지역
	V-2		대전 유성구 둔곡동	NNW	4.4	"	"
	V-3		세종 연서면 성제리	NW	20.5	"	비교지점
	V-4		충남 논산시 연산면	SW	26.0	"	"
가금류 (닭)	EG-1	안산동 연서면 주민센터	대전 유성구 안산동	WSW	6.8	3월, 9월	주변지역
	EG-2		세종 연서면 성제리	NW	20.5	"	비교지점
우유	M-1	영대목장	충남 연기군 금남면	NW	5.4	3월, 9월	주변지역

※ 우리농동위원소 분석지점



그림 2-1. 대덕 원자력이용시설 부지 내 지형도



공간선량	★ 선량률(ERM)	물 시료	△ 지하수
	☆ 직접선량(TLD)		■ 하천토양
공기시료	● 공기중 미립자	토양시료	□ 표층토양
	◎ 공기중수분		□ 숲 일
	⊗ 공기중방사성옥소	농산물	◆ 쌀
	○ 낙진		◇ 배추
물 시료	▲ 빗물	육류	● 닭고기
	▲ 지표수		● 우유



그림 2-2. 대덕 원자력이용시설 주변지역 지형도

나. 서울 연구용원자로시설 부지

(1) 서울 연구용원자로시설 부지 현황

서울 연구용원자로 부지는 서울시 노원구 노원길 130에 위치하고 있으며, 부지에는 연구용원자로 TRIGA시설 2 기가 설치되어 있는데, 이들 연구용원자로는 대덕의 '하나로'가 가동되면서 지난 '95년부터 가동 중지되었고 현재 1호기는 해체중이며 2호기는 해체가 완료되었다.

부지는 서울시 동북쪽 경계선 가까이에 있으며 서울시청으로 부터의 직선거리는 약 11.6 km이다. 한강은 부지의 남쪽 약 10 km 떨어진 곳에서 동쪽에서 서쪽으로 흐르며, 북한산 (836 m), 도봉산 (740 m)의 연봉으로 이루어진 산맥 (북한산국립공원)이 서쪽 약 10 km 떨어진 곳에서 남북으로 뻗어 있고, 동쪽에는 수락산 (638 m), 불암산 (508 m)으로 이어지는 산맥이 남북으로 뻗어 있다. 부지는 불암산 봉우리로부터 남남서 방향 약 3 km 지점의 산자락에 있으며, 낮은 구릉들로 둘러싸인 좁고 긴 분지형 지대의 동쪽 기슭에 있다.

(2) 서울 연구용원자로시설 주변 환경감시 프로그램

서울 연구용원자로 시설을 중심으로 반경 5 km 범위내에서 다음과 같은 내용에 대해 조사 감시를 정기적으로 수행하였다.

- 공간감마선량률 조사
- 집적선량 조사
- 환경시료에 대한 전베타 방사능 분석
- 환경시료의 스트론튬-90 분석
- 환경시료의 감마동위원소 분석
- 환경시료의 삼중수소 분석

특히 원자력이용시설로부터 방사성 물질의 유출·확산 가능성에 대비하여 연구원 부지 내를 흐르는 지표수에 대한 조사감시를 강화하였다. 정확한 환경방사선 조사감시를 위해서 원자력 이용시설 부지 내 지역과 주변지역에 대해 매월 현지에서 수행하였다. 방사선환경조사 대상항목 및 조사빈도 등에 대해서는 표 2-5과 표 2-6, 표 2-7에 나타내었고, 그림 2-3에 부지 내의 지형도를, 그림 2-4에 주변지역의 지형도를 나타내었다.

표 2-5. 환경방사선감시기에 의한 공간감마선량률 조사계획 (서울)

번호	조사 지점		방위	거리(km)	조사시기	비 고
MPS-101	2호기(MW) 동쪽	서울 노원구 공릉동	E	0.1	연속측정	부지 내
MPS-102	2호기(MW) 서쪽	서울 노원구 공릉동	W	0.1	"	"
MPS-103	1호기(KW) 서쪽	서울 노원구 공릉동	W	0.1	"	"

표 2-6. 열형광선량계에 의한 집적선량 조사계획 (서울)

번호	조사 지점		방 위	거리(km)	조사시기(월)	비 고
TL-101	1호기(KW) 동쪽	서울 노원구 공릉동	E	0.1	3, 6, 9, 12	부지 내
TL-102	1호기(KW) 서쪽	서울 노원구 공릉동	W	0.1	"	"
TL-103	2호기(MW) 동쪽	서울 노원구 공릉동	E	0.1	"	"
TL-104	2호기(MW) 서쪽	서울 노원구 공릉동	WW	0.1	"	"
TL-105	보일러 건물	서울 노원구 공릉동	W	0.2	"	"
TL-106	(구)폐기물 건물	서울 노원구 공릉동	S	0.3	"	"
TL-107	(구)정문	서울 노원구 공릉동	WS	0.4	"	"
TL-108	(구)물리동	서울 노원구 공릉동	NEN	0.3	"	"
TL-109	한전기숙사 남쪽	서울 노원구 공릉동	S	0.6	"	"
TL-110	원자력의학원 앞	서울 노원구 공릉동	S	0.7	"	주변지역
TL-111	원자력의학원 옆	서울 노원구 공릉동	S	0.6	"	"
TL-112	서울과학기술대학 연못	서울 노원구 공릉동	NW	0.7	"	"
TL-113	서울여자대학교	서울 노원구 공릉동	SE	1.0	"	"
TL-114	삼육대학교	서울 노원구 공릉동	NE	1.7	"	"
TL-115	인덕전문대학	서울 노원구 월계동	SW	2.0	"	"
TL-116	태능중학교	서울 중랑구 묵동	N	2.1	"	"
TL-117	공릉중학교	서울 노원구 공릉동	N	1.2	"	"
TL-118	광운대학교	서울 노원구 월계동	W	3.3	"	비교지점

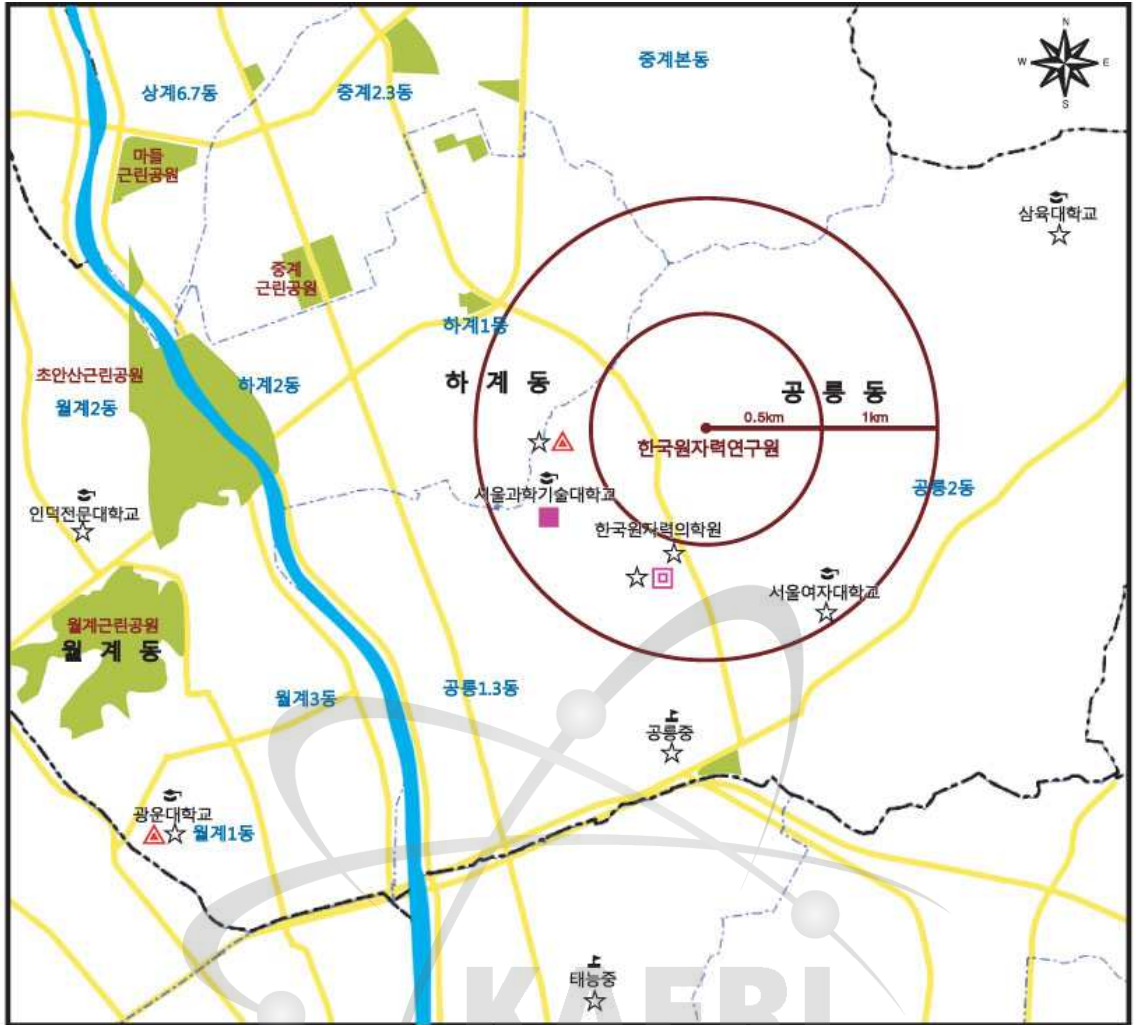
표 2-7. 육상시료의 환경방사능 조사계획 (서울)

조 사 대 상	번 호	조 사 지 점		방위	거리 (km)	조사시기 (월)	비 고
공기 중 미립자	AP-101	2호기(MW) 앞	서울 노원구 공릉동	E	0.1	매월	부지 내
	AP-102	2호기(MW) 뒤	서울 노원구 공릉동	W	0.1	"	"
	AP-103	1호기(KW) 앞	서울 노원구 공릉동	N	0.1	"	"
	AP-104	한전기계실 옆	서울 노원구 공릉동	W	0.2	"	비교지점
하천 토양	WS-101	(구)정문	서울 노원구 공릉동	WS	0.4	3, 6, 9, 12	부지 내
	WS-102	서울과학기술대학	서울 노원구 공릉동	NW	0.7	"	비교지점
지하수	UW-101	보일러 건물	서울 노원구 공릉동	W	0.2	3, 6, 9, 12	부지 내
지표수	SW-101	서울과학기술대학연못 광운대학교	서울 노원구 공릉동	S	0.6	매월	주변지역 비교지점
	SW-102		서울 노원구 월계동	W	3.3	"	
표층 토양	S-101	2호기(MW) 동쪽	서울 노원구 공릉동	E	0.1	3월, 9월	부지 내
	S-102	보일러 건물	서울 노원구 공릉동	W	0.2	"	"
	S-103	(구)물리동	서울 노원구 공릉동	NEN	0.3	"	"
	S-104	원자력의학원앞	서울 노원구 공릉동	S	0.7	"	비교지점

KAERI



그림 2-3. 서울 연구용원자로시설 부지 내 지형도



공간선량	☆	직접선량(TLD)
공기시료	●	공기중 미립자
물 시료	△	지하수
	▲	지표수
토양시료	■	하천토양
	□	표층토양

그림 2-4. 서울 연구용원자로시설 주변지역 지형도

1. 환경감시 방법

가. 환경방사선 조사 방법

(1) 공간감마선량률 조사

공간감마선량률 측정을 위하여 부지 내에 환경방사선 실시간감시장치 (Reuter Stokes RSS-1012, Environmental Radiation Monitor, Spherical High Pressurized Ionization Chamber, 30 cm Φ , Pure Argon 25 atm)를 고정설치 운영하였다. 환경방사선 감시장치의 검출기를 지상 약 1.2 m 높이에 고정시키고 24 시간 연속으로 공간감마선량률이 자동으로 측정 기록되도록 하였다. 대덕 부지 내 및 비교지점 7 개소의 감시 지점에 설치하고 무선 전송에 의한 온라인 감시 시스템을 구축 운영하였다. 그림 2-5는 부지에 설치된 공간감마선량률 및 기상 실시간 측정 지점을 나타내고 있다.



그림 2-5. 부지 내 공간감마선량률 및 기상 실시간 측정 지점

(2) 집적선량 조사

집적선량은 선정된 조사 지점에서 지표 1 m 이상의 높이에 열형광선량계를 장착하고 3개월 간격으로 교환·회수하여 측정되었다. 열형광계측장치 (TLD Reader, Harshaw TLD 6600)를 사용하여 회수된 선량계의 열형광량 (TL)을 계측하고 방치기간 (3 개월) 동안의 집적선량을 산출하였다. 사용된 선량계는 0.38 mm 두께를 갖는 4 개의 LiF : Mg, Cu, P TLD 소자로 구성되어 있는 TLD-100H로서 테프론으로 포장되어 있으며 구리와 ABS 필터, 플라스틱, Mylar 박막 및 주석 필터로 구성된 Type 8855 선량계 홀더에 담아 사용하였다.

나. 환경시료의 채취 및 전처리 방법

(1) 공기 중 미립자 및 방사성 옥소

공기 중 미립자는 연속채취장치 (Low Volume Air Sampler)를 설치하여 채취하는데 채집기에 사용되는 여과지는 Glass Fiber Filter (47 mmD, Gelman Co.)가 사용되었다. 이때 공기채집기는 지표에서 1 m 이상의 높이에 설치하였다. 미립자의 시료 채취는 2.2 ft³/min (3.74 m³/h)의 유량으로 포집하였으며 7일 간격으로 Filter를 회수 및 교환하였다. 방사성옥소의 경우는 부지 내 및 주변지역에서 6개 지점에 활성탄필터를 설치하여 7일 동안 공기를 연속 채취 (600 m³ 이상)하였다.

(2) 공기 중 수분

공기 중 수분은 5 개 지점에서 분자체 (Molecular Sieve) 칼럼 5 개를 설치한 장치를 이용하여 채취하였다. 분자체는 3A 1/16 형태로 평균수분흡착용량 21 wt%, 형상 1.6 mmD의 것을 사용하였다. 흡입되는 공기의 유속은 0.3 L/min ~ 1.0 L/min 로 유지하며 4 주 동안 연속 채취가 가능하도록 하였다. 4 주 후 수거된 칼럼은 전기로에서 400 °C로 가열하면서 질소 가스를 주입하여 포집된 수분을 회수하였다.

(3) 낙진

조사 지점에 설치된 면적 10,000 cm², 깊이 40 cm인 스텐인레스 스틸 수반에 증류수를 약 20 L 채운 다음 3 개월 간 강수와 자연강하물을 받아 여과 후 낙진을 회수하였다.

(4) 표층토양

표층토양시료는 조사 지점에서 반경 약 5 m 지역에서 일정한 방위와 간격으로 5 개 이상의 곳에서 채취하였다. 채취 깊이는 지표면에서 5 cm로 하고 채취량은 각 점에서 동일하게 가로 및 세로 길이가 각각 20 cm인 400 cm² 넓이에서 채취하여 전체가 1 kg 정도 되도록 한다. 채취한 시료는 골고루 섞어 건조기 (Drying Oven)에서 70 ℃ ~ 110 ℃로 완전 건조시켰다. 건조된 시료는 1 mm의 체로 체질하여 핵종 분석용으로 사용하였다.

(5) 하천토양

조사 지점에서 표층토양의 경우와 같은 방법으로 1 kg 정도 채취하여 사용한다.

(6) 솔잎

조사 지점에서 주변 반경 약 10 m 지역에서 2년생 소나무 한그루당 0.2 kg 정도씩 약 1 kg 채취하였다. 채취된 시료를 건조기에서 110 ℃로 건조시킨 다음, 믹서로 분쇄하여 사용하였다.

(7) 빗물

조사 지점에 채수기를 채수에 지장이 없는 곳에 지면에서 튀긴 물이 들어가지 않도록 설치하였다. 채시료채취량은 1개월 동안 내린 강수량으로 하는 것을 원칙으로 하되, 강수량이 20 L이상일 경우에는 20 L를 취하고, 그 이하일 경우에는 전량을 시료로 한다.

(8) 지표수

조사 지점에서 물이 흐르는 중심 부분을 선택하여 표면수를 20 L 정도 채취하여 사용하였다. 채취한 시료에 질산 또는 염산을 소량 가한다. 단, 삼중수소 측정용 시료는 제외하였다.

(9) 지하수

조사 지점에서 지하공을 충분히 지나올 정도의 시료는 버린 다음 지하수를 약 20 L 이상 채수하여 사용하였다.

(10) 채소류

조사 지점에서 재배되는 배추를 현지에서 직접 5 kg 정도 구입하였다. 시료는 건조기에서 70 °C ~ 110 °C로 충분히 건조시킨 후 분쇄하여 사용한다. 삼중수소 분석용 시료는 냉동 건조기 (Freezer Dryer)를 이용하여 조직 자유수를 추출한 다음 추출한 시료를 증류하였다.

(11) 곡류

시료는 수확기에 채취하고 생산지역에서 직접 채취하거나 그 지역에서 생산된 것을 확인하여 약 10 kg 정도를 구입하여 사용한다.

(12) 기타 환경시료

가금류의 시료채취는 조사지점에서 직접 사육되는 닭고기를 직접 구입하고 시료량은 생체분석을 할 수 있도록 5 kg 정도로 한다. 우유시료는 조사지점 주변의 목장에서 생산된 원유를 대상으로 하며 시료량은 10 L정도로 한다. 채취방법은 일반적으로 벌크쿨러 (300 ~ 3000 L정도)에 옮겨 균일하게 섞인 원유를 채취하거나 그 지역에서 생산된 것을 확인하여 구입한다.

다. 방사능 계측 및 분석 방법

(1) 전알파/전베타 방사능

공기 중 미립자의 경우 채취된 필터는 자연방사능 감쇄를 보정하기 위하여 72 시간 경과 후 지름 5 cm 스테인레스 스틸 플렌젯에 옮겨 저준위 알파/베타 계측기 (Low background α/β counter, Tennelec XLB)를 이용하여 계측하였다.

낙진시료는 부유물을 필터로 여과한 후 450 °C 전기로에서 회화하였다. 회화한 시료를 계측 용기에 옮겨 계측하였다.

물시료의 경우 전체 시료 중 1 L를 취해 질산 1 mL를 첨가하여 5 mL가 될 때까지 증발시켰다. 증발된 시료는 플렌젯에 옮겨 적외선으로 완전히 건조한 후 계측하였다.

(2) 우라늄 방사능

표층토양과 하천토양의 경우 3 g의 시료를 600 °C 전기로에서 10 시간 이상 유지하여 유기물이 완전히 제거되도록 회화하였다. 회화된 시료는 질산 용액으로 토양 중의 우라늄을 용출 시킨 후 UTEVA 컬럼으로 순수분리하여 전기전착하였다.

지하수의 경우 시료 1 L ~ 2 L를 철공침시켜 여과한 후 토양 시료와 같은 방법으로 분리한 후 우라늄 농도를 분석하였다. 우라늄 동위원소는 알파스펙트로미터 (CANBERRA, Alpha Analyst)를 사용하여 측정하였다.

(3) 삼중수소 방사능

공기 중 수분의 경우 칼럼에서 포집된 시료를, 빗물, 지표수, 지하수의 경우는 전처리하지 않은 시료를, 배추의 경우는 냉동 건조후 수집 시료를 직접 증류법으로 분리하였다. 증류된 시료는 8 mL를 취하여 섬광체 (Ultima Gold LLT, Packard) 12 mL와 함께 20 mL의 시료병에 넣고 흔들여 혼합시킨 다음, 시료를 24 시간 암실에 방치해둔 후 액체섬광계수기 (Liquid Scintillation Counter, Quantulus 1220)를 이용하여 삼중수소의 농도를 측정하였다.

(4) 스트론튬-90 방사능

토양시료의 경우는 시료를 완전히 건조시킨 후 450 °C의 전기로에서 유기물이 충분히 제거될 때까지 회화하였다. 회화된 토양시료 중 30 g ~ 100 g을 취해서 산추출법/Sr-resin법으로 스트론튬-90을 분리/정제한 후에 액체섬광계수기 (Liquid Scintillation Counter, Quantulus 1220)로 측정하였다. 배추의 경우는 회화된 배추 시료 중 1 g~ 10 g을 취하여 토양시료와 동일한 방법으로 스트론튬-90을 분석하였다.

(5) 감마동위원소

감마선분광분석 시스템을 이용하여 측정 및 분석을 하였다. 공기 중 미립자는 채취한 필터 1 개월분을 취합하여 72 시간 방치 후 측정하였다. 낙진시료는 부유물을 필터로 여과하고 450 °C 전기로에서 회화한 후 용기에 옮겨 측정하였다. 표층토양과 하천토양은 건조하여 측정하였다. 솔잎, 곡류, 채소류, 가금류 시료는 건조 및 분쇄하여 측정하였다. 물시료는 채취한 시료 20 L를 증발 장치를 이용하여 1 L로 농축하여 측정하였다. 우유시료는 생 시료 상태로 측정하였다.

라. 환경 방사선 및 방사능 계측기의 교정

(1) 저준위 알파/베타 방사능 계측기 교정

전알파 방사능의 경우 표준 알파 Calibration Disk인 ^{241}Am (Amersham, 반감기 432년) 을 사용하고, 전베타 방사능의 경우에는 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ (Amersham, 반감기 29.12년) Disk를 사용하여 교정하였다. 백그라운드 계측은 계측시간 100분으로 10회 이상 계측한 결과로 표 2-8 교정 결과에 나타내었다. 저준위 알파/베타계수기의 자기흡수 보정은 KCl과 ^{241}Am 을 사용하여 수행하였다. 그 결과를 표 2-8과 그림 2-6에 나타내었다. 알파 핵종의 경우는 자기흡수에 의한 효율 변화가 지수함수로 감소하는 경향을 보인다(그림 2-6). 베타 핵종의 경우는 환경시료 측정 영역인 KCl 0 ~ 120 mg 영역에서는 효율값이 요동현상을 보이기 때문에 평균값을 사용하였고 이때 평균 효율 값인 $51.2 \pm 1.2\%$ 와 $49.9 \pm 1.3\%$ 를 사용하였다(그림 2-6, 표 2-8).

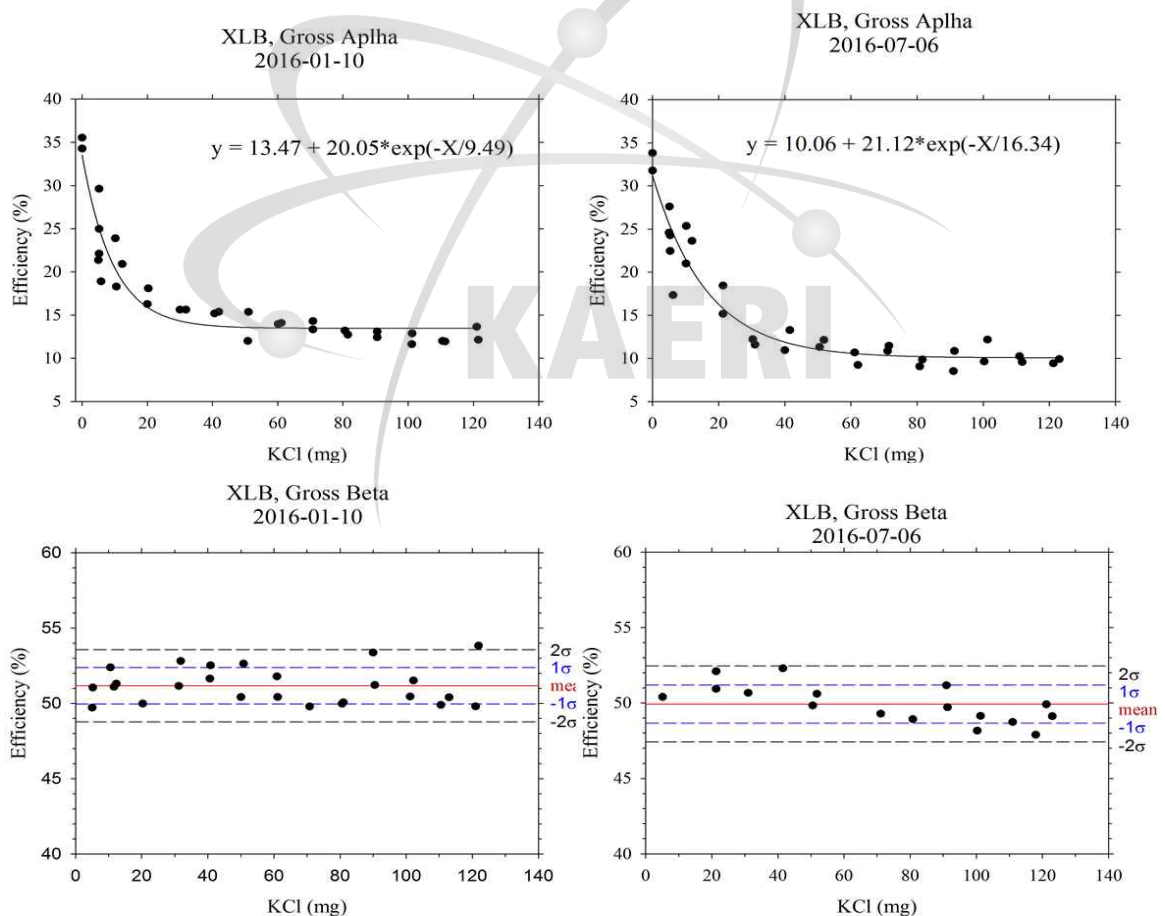


그림 2-6. 저준위 알파/베타계수기 자기흡수 보정 결과

표 2-8. 저준위 알파베타계수기¹⁾ 교정 결과 및 자기흡수 보정 결과

Calibration Date	Operating Voltage (V)		Background (CPM)		Efficiency (%)	
	$\alpha^2)$	$\beta^3)$	$\alpha^2)$	$\beta^3)$	$\alpha^2)$	$\beta^3)$
2016. 1. 10.	420	1470	0.13	0.77	32.4	43.5
2016. 7. 6.	570	1470	0.11	0.83	31.9	45.6

주1) 계측기: Tennelec XLB

주2) 알파 교정 선원: ²⁴¹Am (IAEA Tech. '04. 04. 08)

주3) 베타 교정 선원: ⁹⁰Sr/⁹⁰Y (IAEA Tech. '02. 04. 12)

Gross Alpha				Gross Beta			
2016.1.10		2016.7.6		2016.1.10		2016.7.6	
KCl (mg)	Eff.(%)	KCl (mg)	Eff.(%)	KCl (mg)	Eff.(%)	KCl (mg)	Eff.(%)
0	34.3	0	31.8	5	49.7	21.3	52.1
5.2	25.0	6.2	17.3	10.5	52.4	51.8	50.6
5.8	18.9	5.3	24.3	31.8	52.8	91.3	49.7
5	21.4	5	24.6	40.6	51.6	101.3	49.1
10.5	18.3	10.1	21.0	50.8	52.6	111	48.7
20	16.3	21.3	15.2	61.1	50.4	123	49.1
31.8	15.6	30.3	12.2	70.8	49.8	5.1	50.4
40.6	15.2	40	10.9	80.6	50.0	21.3	50.9
50.8	12.0	51.8	12.1	90.5	51.2	31	50.7
61.1	14.1	61.1	10.7	101.2	50.5	41.5	52.3
70.8	13.3	71.5	11.5	110.5	49.9	50.5	49.8
80.6	13.2	81.6	9.9	121	49.8	71.1	49.3
90.5	13.1	91.3	10.9	5.2	51.1	80.8	48.9
101.2	12.9	101.3	12.2	12.3	51.3	91	51.2
110.5	12.0	111	10.2	20.3	50.0	100.3	48.2
121	13.6	123	9.9	11.6	51.1	118	47.9
0	35.5	0	33.8	31.2	51.2	121.2	49.9
5.2	29.6	5.3	22.5	40.8	52.5	평균	49.9
10.2	23.9	5.1	27.6	50	50.4		
5.2	22.1	10.2	25.4	60.9	51.8		
12.3	20.9	11.9	23.6	81	50.1		
20.3	18.1	21.3	18.4	90	53.4		
30	15.6	31	11.6	102.2	51.5		
41.9	15.4	41.5	13.3	113	50.4		
51	15.4	50.5	11.3	121.9	53.8		
60.1	14.0	62.1	9.2	평균	51.2		
70.8	14.3	71.1	10.9				
81.5	12.7	80.8	9.1				
90.5	12.4	91	8.5				
101.1	11.6	100.3	9.6				
111.3	11.9	111.8	9.6				
		121.2	9.4				

(2) 열형광선량계 교정

열형광선량계의 교정 목적은 가해진 방사선 조사량에 대해 사용된 모든 선량계가 실질적으로 동일한 응답특성을 나타냄을 확인하는 것이다. 또한 열형광 계측시스템의 교정은 동일 선원에 대해 동일 시점에서 일관성 있는 판독값이 나오도록 유지시키기 위함이다. 교정용 선원으로는 ^{90}Sr 또는 ^{137}Cs 등이 주로 사용된다. 선량계에 대한 교정인자를 ECC (Element Correction Coefficient), 판독기의 교정인자를 RCF (Reader Calibration Factor)라고 하며, 이들 두 교정인자들은 다음 식에 따라 적용이 된다.

$$\text{Exposure} = \frac{\text{ECC} \times \text{Charge}}{\text{RCF}}$$

열형광 선량계(TLD-100H)의 조건은 표 2-9와 같고, 일정한 선량을 조사한 임의의 선량계에 대한 판독결과는 그림 2-7과 같다.

표 2-9. 열형광선량계(TLD-100H)

Material		TLD-100H (LiF:Mg,Cu,P)	
Shape		Chip (3.2mm(1/8 inches) square)	
Thickness		0.25mm/0.010" 0.38mm/0.015"	
Substrate Material		Teflon	Kapton
Pre-heat	Temp (°C)	165	165
	Time (s)	10	10
Acquire	Max temp (°C)	260	250
	Time (s)	13.33	13.33
	Rate (°C/s)	15	15
Anneal	Temp (°C)	260	250
	Time (s)	10	10

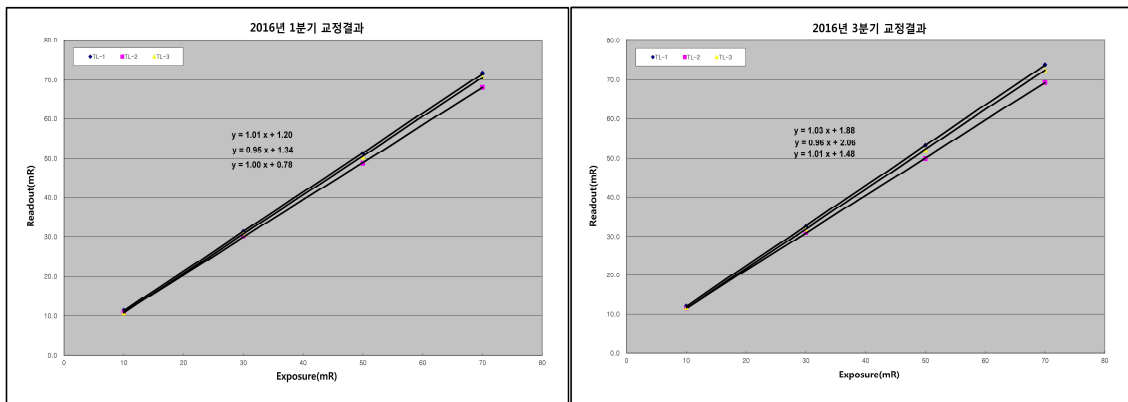


그림 2-7. 열형광 계측시스템 교정 결과

(3) 감마 스펙트로메터의 교정

표준 혼합 선원 (Standard Mixed Source, ^{241}Am , ^{109}Cd , ^{57}Co , ^{139}Ce , ^{203}Hg , ^{113}Sn , ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{88}Y 등)을 희석하여 교정을 위해 사용한다. HPGe 검출기를 사용하여 측정 용기의 표준 선원에 대하여 각 에너지 및 핵종별로 검출 효율을 산정하였다. 그 결과 중 일부를 표 2-10과 표 2-11에 나타내었다.

표 2-10. 감마 스펙트로메터 교정 결과 (ORT#9)

Date	Geometry	Energy	Energy Calibration	Efficiency Calibration	Date	Geometry	Energy	Energy Calibration	Efficiency Calibration
		KeV	Channel	Efficiency			KeV	Channel	Efficiency
16.2.2.	1000 mL Marinelli Beaker	88	240.09	3.6517E-002	16.6.14.	1000 mL Marinelli Beaker	88	240.24	3.8205E-002
		661	1810.67	1.6034E-002			661	1812.61	1.6490E-002
		1332	3647.32	9.6635E-003			1332	3651.22	9.7065E-003
16.1.27.	150mL Cylindrical Bottle(5cm)	88	240.10	3.9876E-002	16.6.17.	150mL Cylindrical Bottle(5cm)	88	240.36	4.2446E-002
		661	1810.79	1.5128E-002			661	1812.54	1.5061E-002
		1332	3647.52	8.9955E-003			1332	3651.08	8.9234E-003
16.1.29.	Air Filter	88	240.16	1.3646E-001	16.6.29.	Air Filter	88	240.49	1.4637E-001
		661	1810.77	4.2077E-002			661	1813.02	4.2700E-002
		1332	3647.51	2.2663E-002			1332	3652.01	2.3048E-002

ORT#9 System :

-Detector Type : p-type HPGe
 -Resolution : 1.85KeV at 1.33 MeV
 -Crystal Diameter : 57.7 mm

-Relative Eff. : 30%
 -Peak-to-Compton Ratio ^{60}Co : 60:1
 -Crystal Length : 74.8 mm

주) 효율교정곡선은 다항식 (Polynomial)을 사용하였음.

표 2-11. 감마 스펙트로메터 교정 결과 (ORT#8)

Date	Geometry	Energy	Energy Calibration	Efficiency Calibration	Date	Geometry	Energy	Energy Calibration	Efficiency Calibration
		KeV	Channel	Efficiency			KeV	Channel	Efficiency
16.2.1.	1000 mL Marinelli Beaker	88	233.65	3.4835E-002	16.6.20.	1000 mL Marinelli Beaker	88	234.05	3.7010E-002
		661	1801.63	1.9007E-002			661	1761.42	1.8918E-002
		1332	3627.43	1.1137E-002			1332	3547.44	1.1298E-00
16.1.29.	150mL Cylindrical Bottle(5cm)	88	233.69	4.6419E-002	16.6.21.	150mL Cylindrical Bottle(5cm)	88	234.07	4.7992E-002
		661	1758.16	1.6899E-002			661	1761.64	1.6803E-002
		1332	3540.89	1.0051E-002			1332	3546.51	9.9734E-003
16.2.2.	Air Filter	88	233.79	1.4947E-001	16.6.22.	Air Filter	88	234.18	1.5288E-001
		661	1758.07	4.4350E-002			661	1761.63	4.4661E-002
		1332	3540.62	2.3984E-002			1332	3547.85	2.4442E-002

ORT#8 System :

-Detector Type : n-type HPGe
 -Resolution : 1.96 KeV at 1.33 MeV
 -Crystal Diameter : 62.8 mm

-Relative Eff. : 30%
 -Peak-to-Compton Ratio ^{60}Co : 60:1
 -Crystal Length : 67.8 mm

주) 효율교정곡선은 Knee Energy 기준으로 2차 함수 (Quadratic)식을 사용하였음.

(4) 알파 스펙트로메터의 교정

우라늄 동위원소 농도를 측정하기 위해 사용된 알파 스펙트로메터는 CANBERRA사의 Alpha Analyst 8 Chamber이다. 우라늄과 같은 알파선 방출 핵종은 비정이 매우 짧아서 대기압에서 측정하지 않고 진공에서 측정하는데 우라늄 피크를 정량적으로 분리하기 위해서는 진공을 최소한 10^{-2} Torr 이하로 유지하여야 한다. 본 우라늄 분석에서는 WELCH 사 (DirecTorr 8905)의 진공펌프를 사용하여 진공을 10^{-2} Torr 이하로 유지하였다. 에너지 보정을 위해서 Analytics 사의 Mixed Alpha Standard Source (^{238}U : 4.18 MeV, ^{234}U : 4.76 MeV, ^{239}Pu : 5.15 MeV, ^{241}Am : 5.48 MeV)를 사용하여 채널수와 에너지간의 관계를 조사하였다. 그림 2-8은 에너지 보정 곡선을 나타내고 있다.

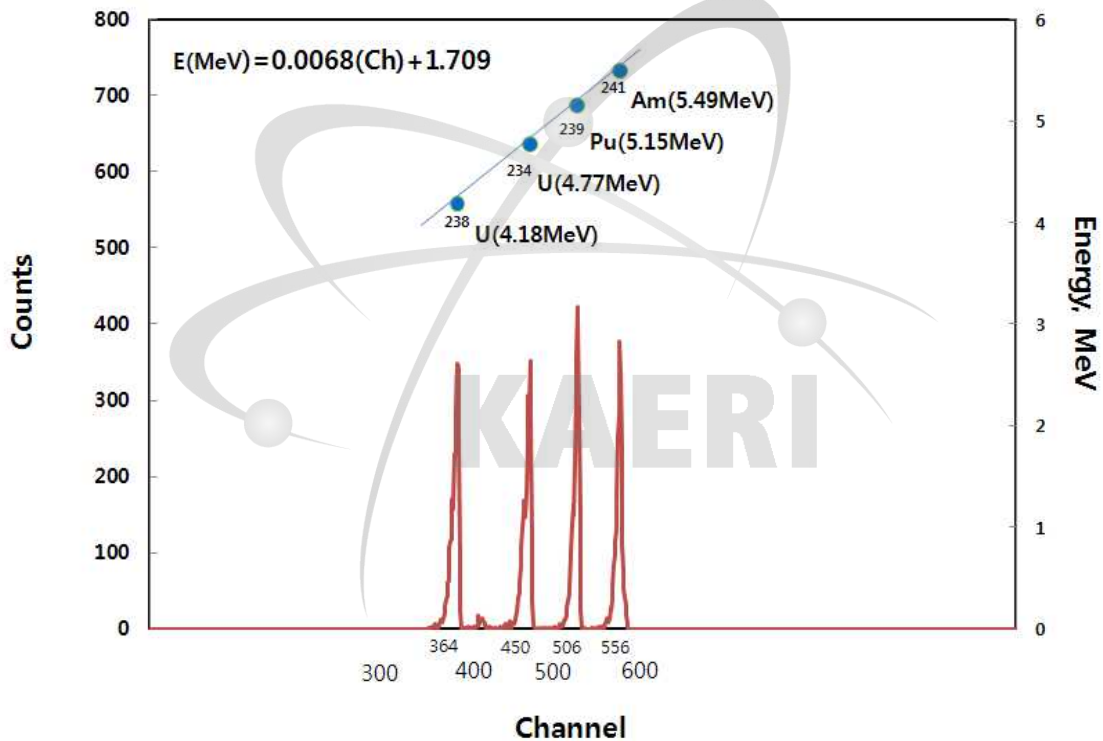


그림 2-8. 알파 스펙트로메터의 에너지 보정 곡선

(5) 액체섬광계수기의 교정

삼중수소와 스트론튬-90을 분석하기 위해 표준 선원 (Standard Source)을 시료로 조제하여 액체섬광계수기 (Quantulus 1220, Wallac) 검출기의 효율을 보정하였으며, 그 결과를 표 2-12에 나타내었다. 스트론튬-90을 분석하기 위해서 0.1~5 Bq의 ^{90}Sr 표준선원과 0.1 M HNO_3 를 섞어 시료 부피가 10 mL가 되도록 한 후 Ultima Gold AB를 혼합하여 검출기의 효율을 보정하였다. 본 분석법에서 ^{90}Sr 은 딸핵종 ^{90}Y 와 방사평형에 도달하는 2 주가 지난 뒤에 LSC로 분석되었다. ^{90}Sr 과 그 딸핵종 ^{90}Y 는 모두 베타핵종으로서 LSC에 의해 검출된다. 표 2-12의 계측효율은 $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ 가 모두 반영된 결과이다.

표 2-12. 액체섬광계수기¹⁾ 교정결과(삼중수소, 스트론튬-90)

교정일자/장비	표준용액 ²⁾ (g)	BKG Water (mL)	Ultima Gold LLD (mL)	용액 총부피 (mL)	SQP(E)	효율 (%)
'16. 1. 27. (Quantulus 1220 #3)	1	1	18	20	826.40	46.03
	1	2	17	20	817.60	44.45
	1	3	16	20	811.21	43.08
	1	4	15	20	800.46	41.27
	1	5	14	20	797.55	39.83
	1	6	13	20	795.25	37.66
	1	7	12	20	776.51	35.41
	1	8	11	20	766.32	32.92
	1	9	10	20	754.12	30.20
	1	10	9	20	744.52	27.27
'16. 7. 29. (Quantulus 1220 #3)	1	1	18	20	831.35	46.81
	1	2	17	20	821.92	45.51
	1	3	16	20	814.84	43.53
	1	4	15	20	806.58	41.70
	1	5	14	20	799.90	40.12
	1	6	13	20	791.20	37.79
	1	7	12	20	782.49	35.69
	1	8	11	20	767.02	33.03
	1	9	10	20	757.80	30.02
	1	10	9	20	741.26	26.97

주1) 액체섬광계수기: Quantulus 1220 (Wallac)

주2) ^3H 표준용액: ^3HHO , 5.038 ± 0.036 kBq/g (12:00 EST on 3 September, 1998, NIST)의 희석용액

교정일자/장비	^{90}Sr 표준용액 (mL)	0.1 M HNO_3 (mL)	Ultima Gold AB (mL)	계측효율 (%)
'16. 2. 1. (A20-12-5838)	0.53 ³⁾	9.5	10	190±1
'16. 7. 22. (A20-12-5838)	0.14 ⁴⁾	9.9	10	191±2

주3) ^{90}Sr 표준용액: 10.8 Bq/g (기준일자 2015-11-25)

주4) ^{90}Sr 표준용액: 5.3 Bq/g (기준일자 2015-06-22)

(6) 환경방사선감시기 (ERM) 의 교정

약 10 μCi 표준 선원 (^{137}Cs) 1개, 2개 및 3개를 각각 사용하여 방사선준위를 구하고 이로부터 선원의 세기에 따른 방사선량률의 선형성 관계를 조사하였다. 표 2-13에 대덕 및 서울부지 환경방사선감시기의 선원 세기와 방사선량률을 나타내었다. 이때 상관계수는 0.9985~1.0000로 나타나 선원의 세기에 따른 방사선량률의 값은 선형적으로 나타남을 알 수 있었다.

표 2-13. 환경방사선감시기 교정 결과

지점		선원 세기별 선량률 ($\mu\text{R/h}$)			상관계수
		10 μCi	20 μCi	30 μCi	
대덕 (2016.11.4)	골프장북쪽	109.6	207.9	294.0	0.9985
	본관동편	104.0	186.5	271.8	0.9999
	기상탑	103.0	183.8	270.7	0.9996
	독신료	108.1	193.4	279.9	1.0000
	제3연구동	106.0	192.9	278.9	1.0000
	하나로서쪽	117.4	212.2	303.2	0.9999
	연산주말농장	109.4	198.8	300.4	0.9986
서울 (2016.11.2)	KW서쪽	115.0	208.2	300.9	1.0000
	MW서쪽	112.8	201.8	298.8	0.9994
	MW동쪽	115.7	212.1	301.4	0.9995

마. 품질관리

원자력안전위원회 고시 제2014-12호 (원자력이용시설 주변의 방사선환경조사 및 방사선환경영향평가) 제5조 (품질관리)에 따라 환경방사선/능 조사 자료에 대한 품질이 객관적으로 적절한 수준 이내로 유지되고 있는지에 대한 보증 및 조사결과의 정확성과 신뢰성 확보를 목적으로 다음 각 항목에 대하여 “환경방사선/능 조사에 대한 품질관리 계획”을 수립하여 품질관리 활동을 수행하였다.

- 시료채취 및 운반
- 시료 전처리
- 방사선측정 및 방사능 분석
- 조사자료의 해석 및 통계처리
- 조사결과 보고

(1) 시료채취 및 운반

환경방사능 분석 시료는 “한국원자력연구원 방사선환경 조사 절차서”의 시료 채취 방법과 절차를 준수하여 시료의 대표성이 확보되도록 한다. 시료는 현장에서 용기에 담은 후 시료명, 채취 지점, 채취 일시 등을 정확히 기록하고, 시료 채취 대장에도 해당 사항을 기록하여 관리하였다. 실험실로 운반한 후에는 시료의 부패 및 변질, 용기에의 흡착 등에 대한 예방 조치를 하여 보관하였으며, 분석이 끝난 시료는 환경시료 저장실에 식별이 용이하도록 시료의 종류, 채취 지점, 채취 일시 등을 기록한 후 보관 및 관리하였다.

(2) 시료 전처리

분석용 시료는 시료별 전처리 절차에 따라 방사능분석 및 계측에 적합하도록 증발, 농축, 건조, 분쇄, 회화 등의 과정으로 전처리를 수행하였다. 또한 원자력안전위원회고시 제2014-12호 (원자력이용시설 주변의 방사선환경조사 및 방사선환경영향평가)의 검출하한치를 만족시킬 수 있도록 시료별 전처리량 등을 조절하였으며, 각 과정별 사항을 기록 및 관리하고 있다.

(3) 방사능 분석

① 방사능 교차분석 프로그램 참여

한국원자력연구원은 방사능 분석에 대한 품질관리 목적으로 2016년 IAEA에서 주최하는 국제 방사능 분석 숙련도 시험과 KINS에서 주최하는 국내 방사능 분석 숙련도 시험에 참여하였다. 알파, 베타 및 감마 핵종들에 대해 시료의 방사능 분석을 수행하여 결과를 제출하였으며 평가가 진행되었다. 표 2-14에는 한국원자력연구원의 결과를 나타내었다.

표 2-14. 2016년 국제, 국내 방사능 숙련도 시험 결과(IAEA, KINS)

Evaluation Tables for Labcode 13.

Evaluation Result Table for Sample 1

Sample Code	Analyte	Target Value	Target Unc.	MARB	Rep. Value	Rep. Unc.	Rel. Bias	Robust SD	Z-Score	U-Test	Accuracy	P	Precision	Final Score
1	Cs-134	19.9	0.6	15%	19.4	0.8	-2.51%	1	-0.50	-0.50	A	5.11	A	A
1	Cs-137	39.6	1	15%	39.6	1.9	0.00%	1.5	0.00	0.00	A	5.42	A	A
1	Na-22	53.2	1.5	15%	51.3	2.6	-3.57%	3.5	-0.54	-0.63	A	5.80	A	A
1	Sr-90	14.7	0.5	15%	15.7	0.4	6.80%	1.6	0.63	1.56	A	4.25	A	A

Evaluation Result Table for Sample 2

Sample Code	Analyte	Target Value	Target Unc.	MARB	Rep. Value	Rep. Unc.	Rel. Bias	Robust SD	Z-Score	U-Test	Accuracy	P	Precision	Final Score
2	Am-241	26.7	0.7	15%	24.7	1.4	-7.49%	1.9	-1.05	-1.28	A	6.24	A	A
2	Sr-89	373	15	30%	527.1	21.4	41.31%	72	2.14	5.90	N	5.71	N	N
2	Sr-90	20.5	0.5	20%	21.6	1.0	5.37%	3.1	0.35	0.98	A	5.23	A	A

Evaluation Result Table for Sample 4

Sample Code	Analyte	Target Value	Target Unc.	MARB	Rep. Value	Rep. Unc.	Rel. Bias	Robust SD	Z-Score	U-Test	Accuracy	P	Precision	Final Score
4	Cs-137	209	11	20%	210.7	10.8	0.81%	17	0.10	0.11	A	7.35	A	A
4	K-40	216	13	25%	212.5	20.3	-1.62%	23	-0.15	-0.15	A	11.29	A	A
4	Sr-90	17	2	30%	17.9	0.7	5.29%	4.2	0.21	0.42	A	12.40	A	A

Evaluation Result Table for Sample 5

Sample Code	Analyte	Target Value	Target Unc.	MARB	Rep. Value	Rep. Unc.	Rel. Bias	Robust SD	Z-Score	U-Test	Accuracy	P	Precision	Final Score
5	Ra-226	782	40	30%	800.0	24.0	2.30%	127	0.14	0.39	A	5.93	A	A
5	U-234	741	80	30%	730.9	31.9	-1.36%	51	-0.20	-0.12	A	11.65	A	A
5	U-238	708	72	30%	696.7	36.5	-1.60%	56	-0.20	-0.14	A	11.44	A	A

Sample Code	Analyte	Robust Mean	Robust SD	Rep. Value	Rep. Unc.	Z-Score	Z-Score Evaluation
1	Gross Beta	106	20	116.2	2	0.51	A
2	Gross Alpha	58	15	56	2	-0.13	A

2016 숙련도 평가결과

F 원자력연구원

Final Score										No. of Accepted	No. of Warning	No. of Not accepted
Am241	Cs-134	Cs-137	Zn-65	Gross Beta	H-3	Sr-90	U-234	U-238		7	2	0
A	A	A	A	A	W	W	A	A				

② 방사능분석 공인시험 기관 인정

방사능분석에 대한 품질관리 및 품질보증을 위해 국가표준기본법에 따라 운영되는 산업통산자원부 국가기술표준원 한국인정기구(Korea Laboratory Accreditation Scheme, KOLAS)로부터 공인시험기관으로 인정받았으며, 계속적으로 사후 관리를 받고 있다.

(4) 조사자료의 해석 및 통계처리

조사자료의 해석 및 통계처리는 원자력안전위원회고시 제2014-12호 (원자력이용시설 주변의 방사선환경조사 및 방사선환경영향평가) 제8조 (환경조사자료의 처리)에 따라 수행하였다. 환경조사항목마다 최근 3년간의 환경조사자료를 통계적으로 처리하여 평균치와 평상시 변동범위를 설정하였으며, 이를 근거로 연구원의 원자력이용시설 운영에 따른 이상 유무를 판단하였다.

(5) 조사결과 보고

원자력안전위원회고시 제2014-12호 (원자력이용시설 주변의 방사선환경조사 및 방사선환경영향평가) 제10조(보고)에 따라 수행하였다.



KAERI

제2절 운영결과 및 고찰

1. 대덕 원자력이용시설 부지 및 주변지역

가. 환경방사선 조사결과

(1) 공간감마선량률

대덕 원자력이용시설 부지 내 6 개 지점에 설치된 환경방사선감시기로 측정한 공간감마선량률의 연평균은 112 nGy/h으로 전년도 113 nGy/h과 유사한 준위를 유지함을 알 수 있다. 골프장북쪽 지점의 연평균 준위는 105 nGy/h, 본관동쪽 지점은 108 nGy/h, 기상탑 지점은 94.2 nGy/h, 독신료 지점은 118 nGy/h, 제3연구동 지점은 103 nGy/h, 하나로서쪽 지점은 142 nGy/h으로 측정되었으며, 비교지점인 연산주말농장에서의 공간감마선량률의 연평균은 104 nGy/h 이었다 (부록 표 1). 그림 2-9에서 보면 각각의 조사 지점에 대한 부지 내 공간감마선량률은 최근 3년간 거의 일정하게 평상시변동범위를 유지하고 있음을 알 수 있었다.

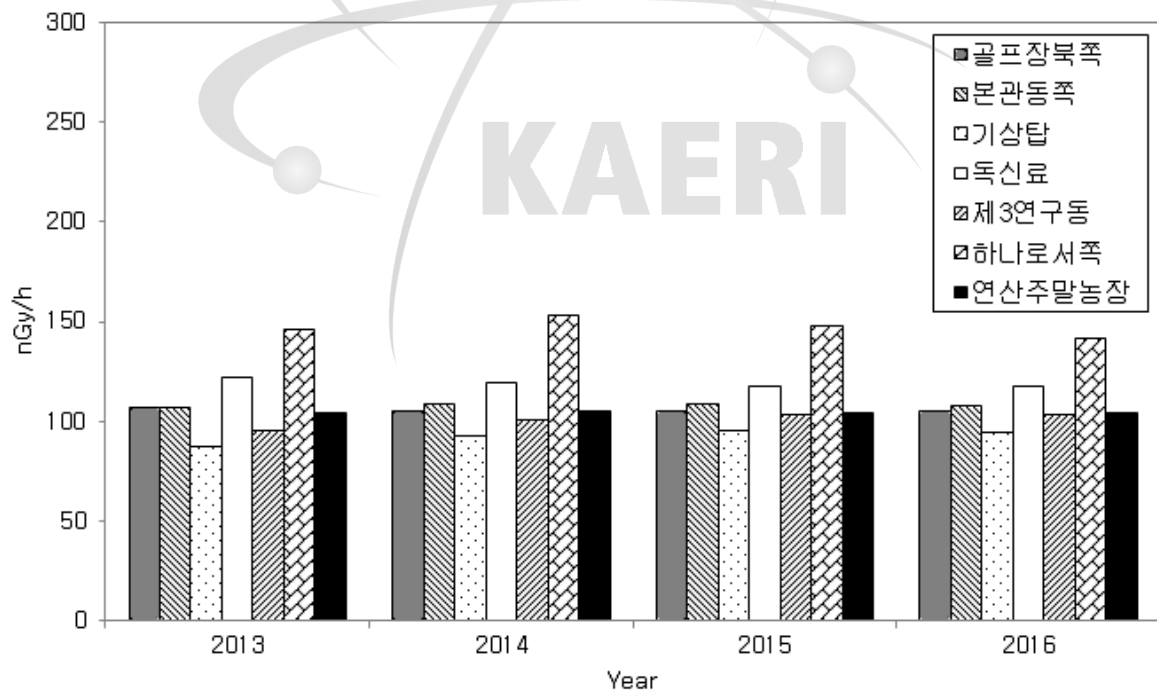


그림 2-9. 대덕 원자력시설 주변 공간감마선량률 (환경방사선감시기)

(2) 집적선량

열형광선량계에 의한 집적선량의 조사 결과를 살펴보면 그림 2-10에서 나타나듯이 부지 내 37 개 지점 및 주변지역 19 개 지점의 연평균은 각각 209 $\mu\text{Gy}/\text{분기}$ 및 202 $\mu\text{Gy}/\text{분기}$ 이다. 우선, 부지 내의 경우 37 개 지점 중 가연물처리동서쪽 지점에서 연평균 1,012 $\mu\text{Gy}/\text{분기}$ 로 측정되어 최고치로 나타났으며 기상탑 지점에서 연평균 130 $\mu\text{Gy}/\text{분기}$ 로 측정되어 최저치를 나타내었다. 정문테니스장 옆 4분기 값의 경우 평상시 변동범위 보다 높은 값을 나타내었으나, 주변시설에 의한 특이사항이 없는 것으로 확인되었다.

또한 주변지역 19 개 지점 중 충남대학교 지점이 연평균 261 $\mu\text{Gy}/\text{분기}$ 로 최고치를 나타내었으며, 대청댐휴게소 지점이 연평균 143 $\mu\text{Gy}/\text{분기}$ 로 최저치를 나타내었다(부록 표 2).

집적선량 조사 결과 모든 조사 지점에서의 집적선량 값들이 평상시변동범위 이내임을 알 수 있었다. 다만, 가연물처리동서쪽 지점의 경우 근처 가연물처리동 창고에 서울 연구용원자로의 폐기물이 이송되어 지속적인 정리 작업이 이루어짐에 따라 집적선량이 증가한 것으로 판단된다. 그림 2-10는 최근 3년간의 대덕 원자력시설 부지 내 및 주변지역에 대한 집적선량 연평균 변화를 나타낸 것이며 연도에 따른 변화는 거의 없는 것으로 파악되었다.

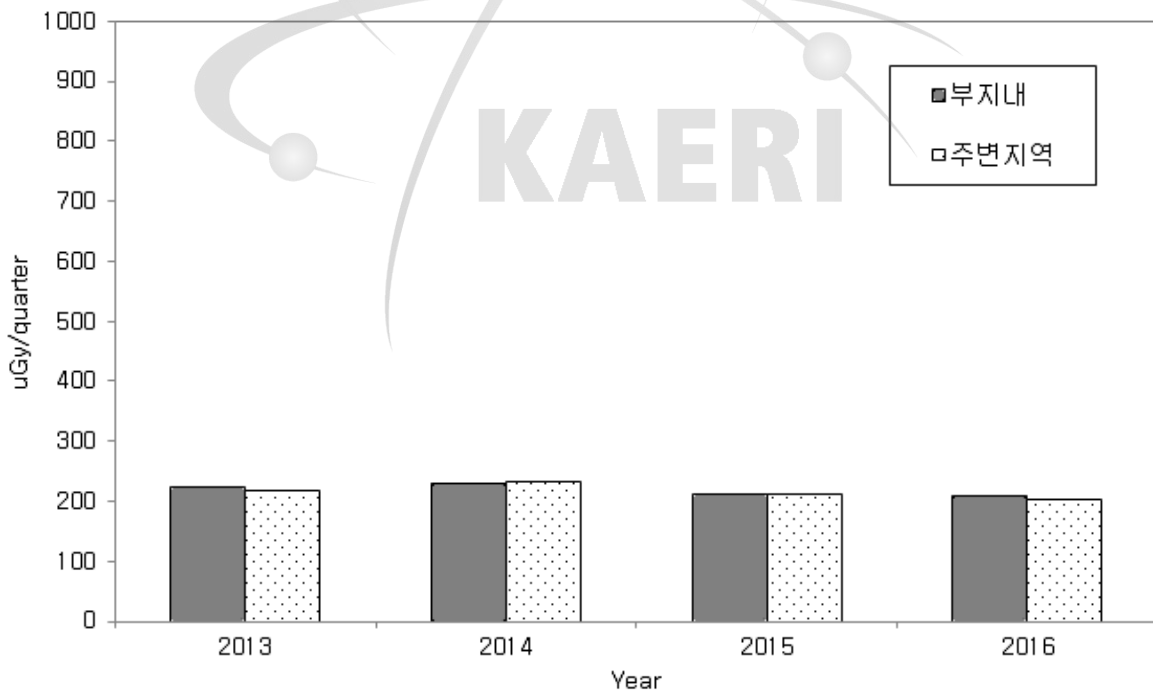


그림 2-10. 대덕 원자력시설 주변 집적선량 (열형광선량계)

나. 환경방사능 조사결과

(1) 공기 중 미립자

공기 중 미립자 시료의 채취는 대덕 원자력시설 부지 내 5 개 지점 및 비교지점 1 개 지점 등 모두 6 개 지점에서 월 1 회 실시되었으며 이에 대한 전알파/전베타 방사능 분석과 감마 동위원소 분석이 수행되었다.

① 전알파/전베타 방사능

부지 내 5 개 조사 지점에서의 전알파 방사능 농도는 연평균 0.129 mBq/m^3 로서 전년도의 0.122 mBq/m^3 과 유사한 준위를 유지하고 있었다(부록 표 3). 전베타 방사능 농도의 경우 부지 내 연평균 1.11 mBq/m^3 로 측정되어 전년도의 1.12 mBq/m^3 과 유사한 준위를 유지하고 있다(부록 표 4). 한편, 그림 2-11과 그림 2-12에 공기 중 미립자의 전알파 및 전베타 방사능 농도에 대한 최근 3년간 변화를 나타내었으며, 각각의 농도는 정상시변동범위 안에서 유지되고 있었다. 또한 전알파 및 전베타 방사능은 동절기에는 상대적으로 높고, 하절기에는 낮은 경향이 있다.

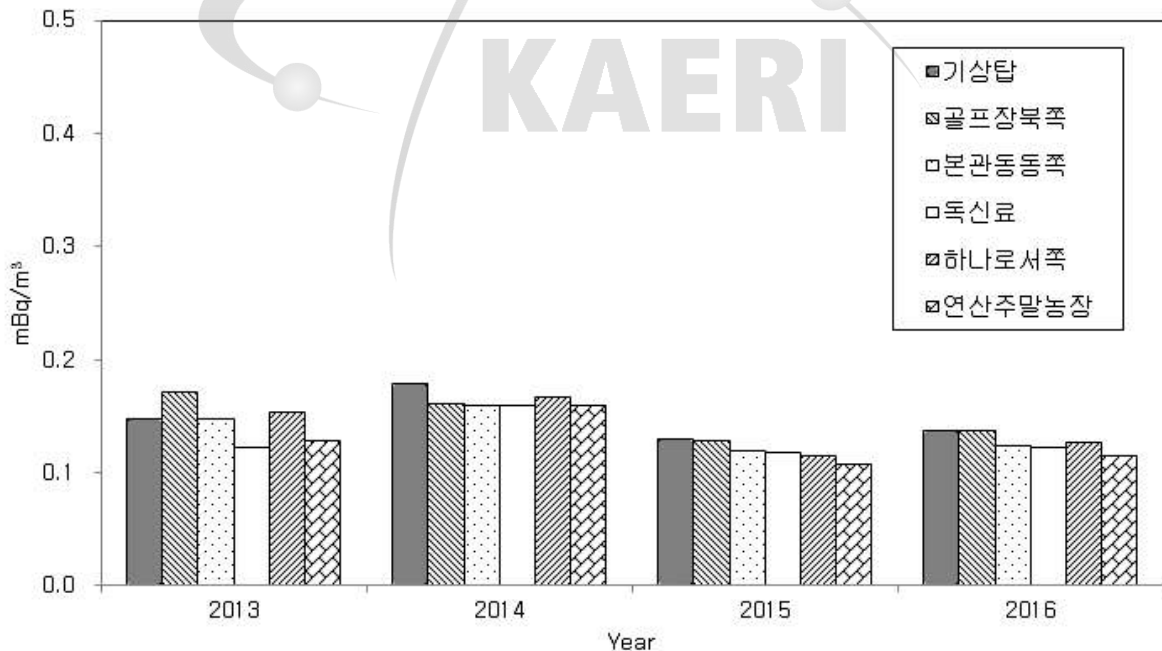


그림 2-11. 대덕 원자력시설 주변 공기 중 미립자의 방사능 농도 (전알파)

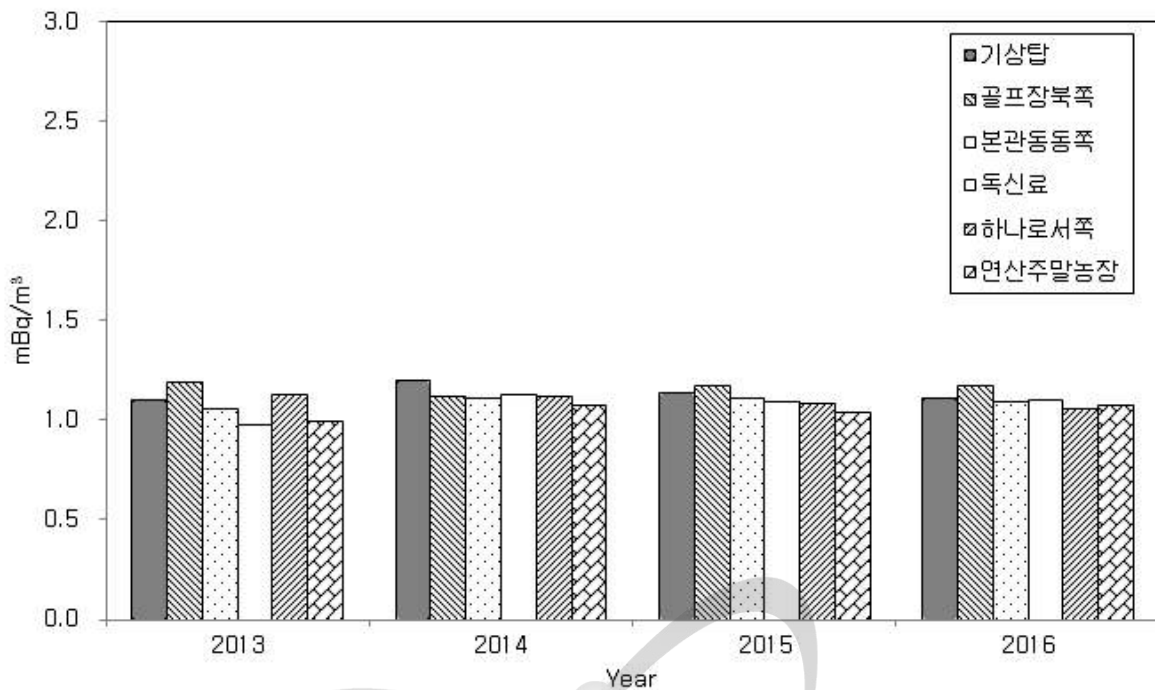


그림 2-12. 대덕 원자력시설 주변 공기 중 미립자의 방사능 농도 (전베타)

② 감마동위원소

부지 내 5 개 및 비교지점 1 개 지점에서 실시된 공기 중 미립자의 감마동위원소 분석 결과는 자연방사성핵종인 ^7Be 만 검출되었고 나머지 감시대상 핵종 모두 MDA 이하의 값을 나타내고 있다(부록 표 5). 한편, 공기 중 방사성 옥소는 주 1회 시료를 분석하고 있으며 모든 지점에서 MDA 이하의 값을 나타내었다(부록 표 6).

(2) 공기 중 수분

공기 중 수분 시료의 채취는 대덕 원자력시설 부지 4 개 지점 및 비교지점 1 개소 등 모두 5 개 지점에서 월 1회로 실시되었으며 이에 대한 삼중수소 분석이 수행되었다.

① 삼중수소

부지 내 4 개 및 주변지역 1 개 조사 지점에서 실시된 공기 중 수분의 삼중수소의 분석 결과를 살펴보면 본관동동쪽 0.0286 Bq/m^3 , 독신료 0.0360 Bq/m^3 , 기상탑 0.0348 Bq/m^3 , 제3 연구동 0.0431 Bq/m^3 그리고 비교 지점인 연산주말농장에서 MDA 이하를 나타내어 평상시 변동범위를 유지하고 있었다(부록 표 7).

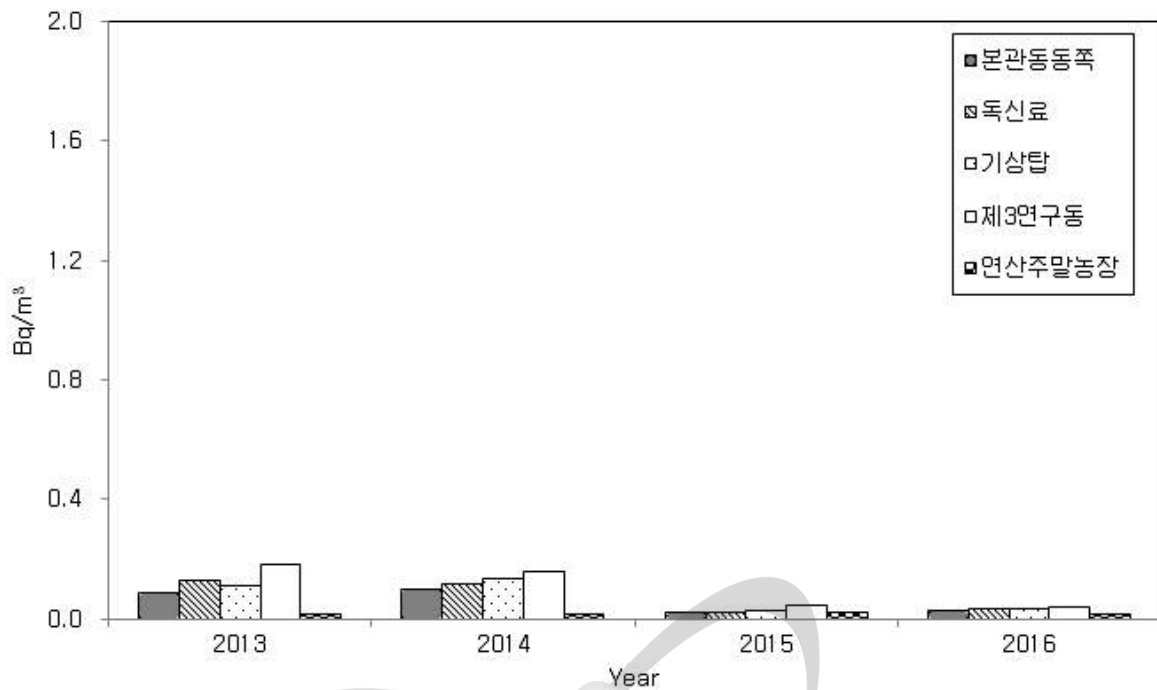


그림 2-13. 대덕 원자력시설 주변 공기 중 수분의 방사능 농도 (삼중수소)

(3) 낙진

낙진시료의 채취 및 분석은 전베타 방사능과 감마동위원소 분석을 목적으로 수행되었다. 전베타 방사능과 감마동위원소의 경우 대덕 원자력시설 부지 내 2 개 지점과 비교지점 1개 지점에서 채취되었다. 시료 채취 빈도는 분기 1 회이다.

① 전베타 방사능

낙진에 대한 전베타 방사능 농도를 살펴보면 기상탑 지점에서 연평균 $33.7 \text{ Bq/m}^2\text{-90days}$, 독신료 지점에서 $38.1 \text{ Bq/m}^2\text{-90days}$, 연산주말농장 지점에서 $35.0 \text{ Bq/m}^2\text{-90days}$ 을 나타내었다(부록 표 8). 기상탑과 독신료 지점의 3/4분기 결과의 경우 평상시변동변위보다 높은 값을 나타내며, 이는 시료채취 환경 중 낙엽 등에 의한 영향으로 판단된다. 그림 2-14는 최근 3년간 추이를 나타낸 것으로 독신료 지점을 제외하고 전년도와 비슷한 준위를 유지하고 있었다.

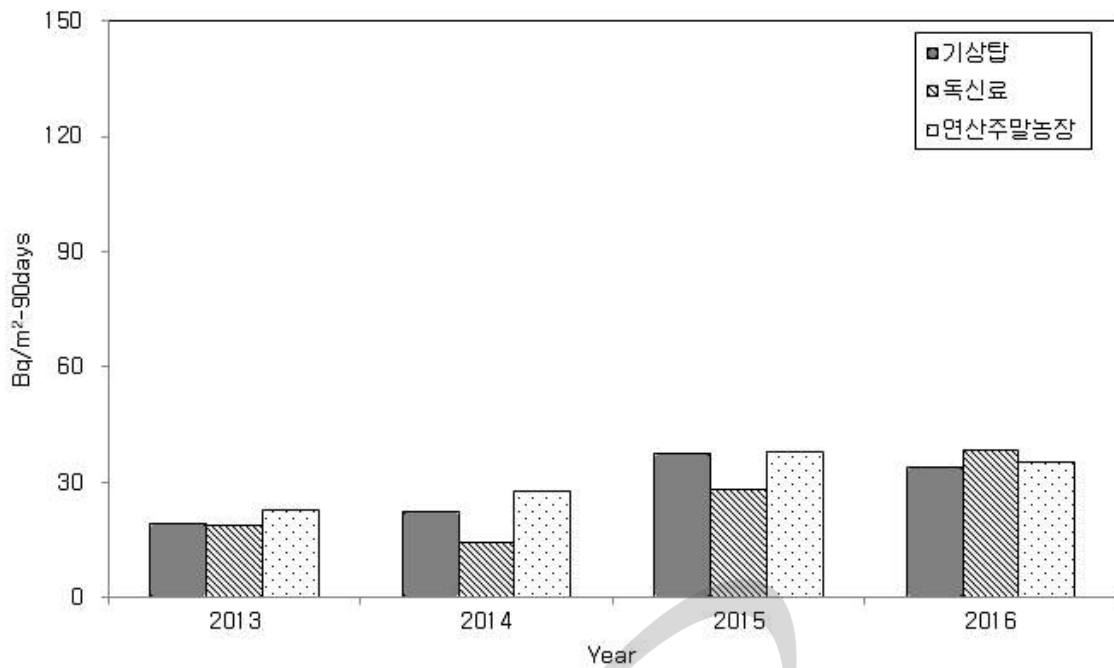


그림 2-14. 대덕 원자력시설 주변 낙진의 방사능 농도 (전베타)

② 감마동위원소

낙진의 감마동위원소 분석결과를 살펴보면 자연방사성핵종인 ^7Be 만 측정되었고 분석대상 중 인공핵종 모두가 MDA 이하의 값을 나타내었다 (부록 표 9).

(4) 표층토양

표층토양시료의 채취 및 분석은 우라늄동위원소, 스트론튬-90 및 감마동위원소 분석을 목적으로 수행되었다. 우라늄동위원소의 경우 대덕 원자력시설 부지 내 2 개 지점, 스트론튬-90의 경우 대덕 원자력시설 부지 내 7 개 지점과 주변지역 5 개 지점 그리고 감마동위원소의 경우 대덕 원자력시설 부지 내 9 개 지점과 주변지역 5 개 지점에서 채취되었다. 시료 채취 빈도는 연간 2 회이다.

① 우라늄 방사능

표층토양시료의 우라늄동위원소에 대한 방사능 농도를 살펴보면 기상탑 지점에서 ^{238}U 농도의 연평균은 21.2 Bq/kg-dry이고 덕진소류지 지점의 연평균은 40.4 Bq/kg-dry이다(부록 표 10).

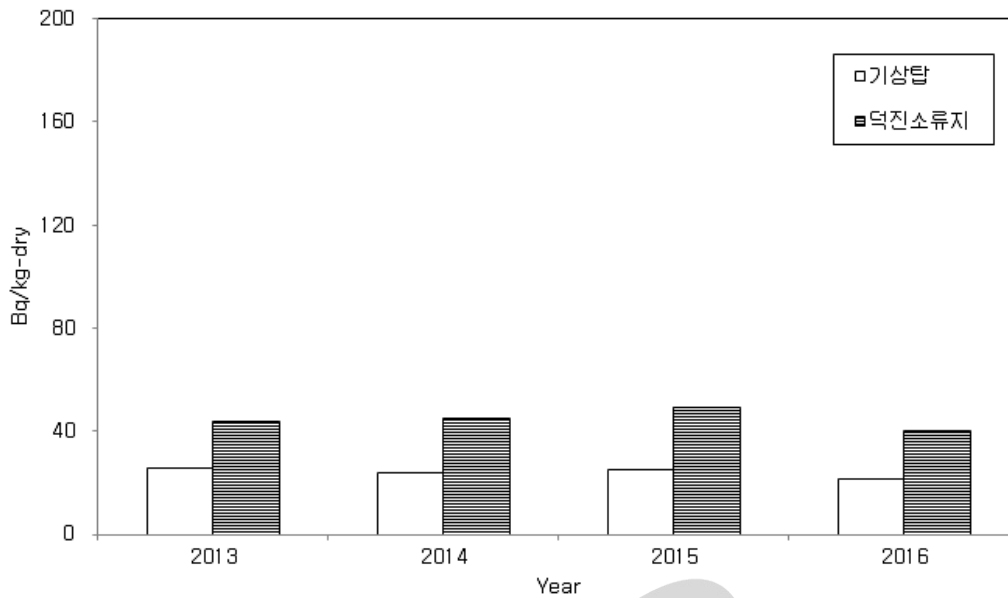


그림 2-15. 대덕 원자력시설 주변 표층토양의 방사능 농도 (^{238}U)

② 스트론튬-90 방사능

채취된 표층토양시료의 스트론튬-90 농도는 부지 내 7 개 조사 지점의 상반기는 평균이 0.191 Bq/kg-dry, 하반기 평균이 0.170 Bq/kg-dry, 그리고 연평균 농도는 0.181 Bq/kg-dry로 전년도와 유사한 준위를 유지하고 있었다. 주변지역 5개 조사 지점에서의 연평균 농도는 0.156 Bq/kg-dry로 정상시변동범위를 유지하고 있었다. (부록 표 11).

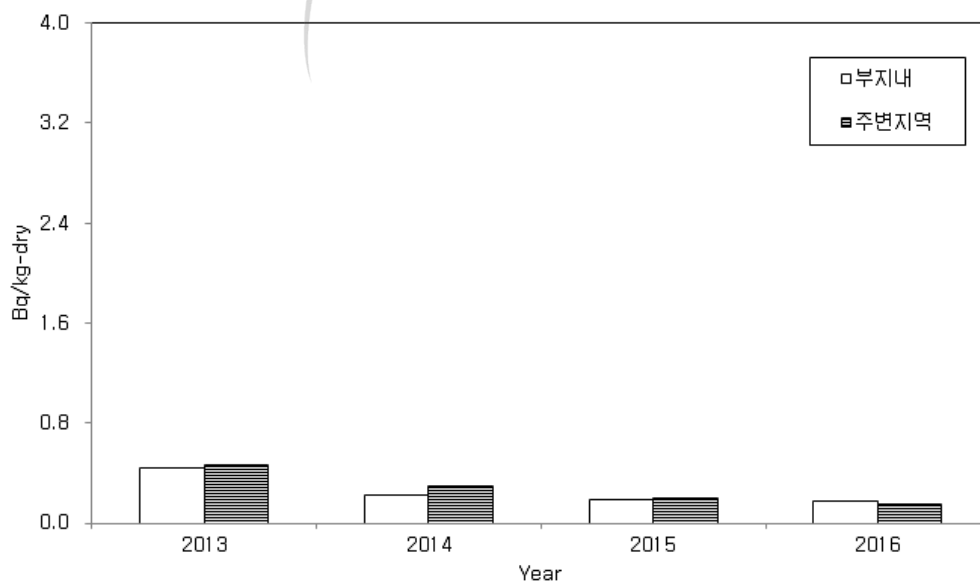


그림 2-16. 대덕 원자력시설 주변 표층토양의 방사능 농도 (스트론튬-90)

③ 감마동위원소

표층토양의 감마동위원소 분석결과에서는 ^{137}Cs 과 ^{40}K 이 검출되었으며, 이는 '60년대 이후 대기권 핵실험에 의해서 지구 북반구에 넓게 분포하고 있는 ^{137}Cs 에 의한 영향이다. ^{40}K 은 전체 지점에서 모두 검출되었다 (부록 표 12). ^{137}Cs 과 ^{40}K 는 평상시변동범위 내이며 그 밖의 인공핵종은 모두 MDA 이하의 값이었다.

(5) 하천토양

하천토양 시료는 대덕 원자력시설의 배수로를 따라서 동화천에 이르는 부지 내 2 개 지점과 주변지역 2 개 지점에서 채취되었다. 시료 채취는 우라늄동위원소와 감마동위원소 측정을 위해서 분기별로 실시하였다.

① 우라늄 방사능

하천토양의 ^{238}U 연평균 방사능 농도의 경우 대덕 원자력이용시설에서 배출되는 배수구 두 지점과 주변지역, 비교지점의 방사능 농도를 비교하면 큰 차이 없이 비슷한 값을 보이고 있었다 (부록 표 13).

우선, 지점별 ^{238}U 연평균 농도를 살펴보면 정문앞배수구에서 38.1 Bq/kg-dry, 본관동쪽배수구에서 36.0 Bq/kg-dry, 배수구합류지점에서 40.5 Bq/kg-dry, 연산주말농장에서 37.9 Bq/kg-dry로 평상시변동범위를 유지하고 있었다.

조사시기별 부지 내 ^{238}U 연평균 농도를 보면 1/4 분기에서 35.0 Bq/kg-dry, 2/4 분기에서 41.9 Bq/kg-dry, 3/4 분기에서 33.8 Bq/kg-dry, 4/4 분기에서 37.6 Bq/kg-dry이었다. 그림 2-17은 4 개 지점에서 채취된 하천토양의 최근 3년간 ^{238}U 연평균 방사능 농도 추이를 보여주고 있으며 평상시변동범위를 유지하고 있었다.

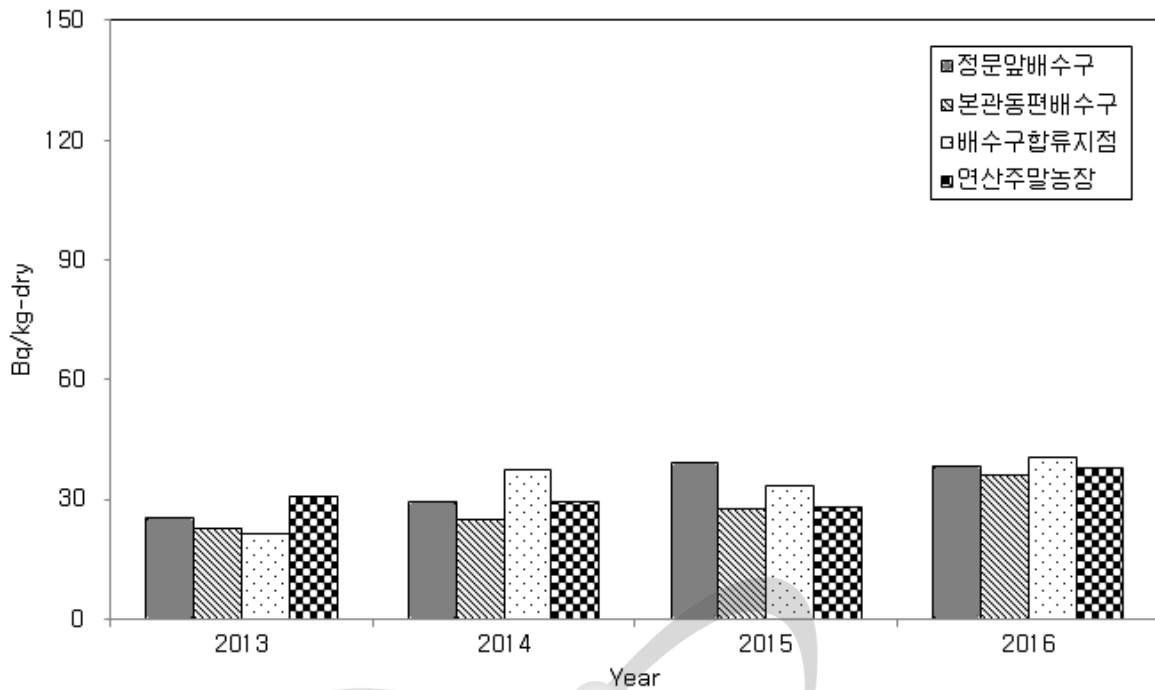


그림 2-17. 대덕 원자력시설 주변 하천토양의 방사능 농도 (^{238}U)

② 감마동위원소

하천토양에 대한 감마동위원소 분석결과에서는 ^{40}K 이 검출되었으며, 그 밖의 인공핵종은 모두 MDA 이하의 값이었다(부록 표 14).

(6) 솔잎

솔잎시료의 채취는 대덕 원자력시설 부지 2 개 지점 및 비교지점 1 개 지점 등 모두 3 개 지점에서 연간 2 회 실시되었으며 이에 대한 감마동위원소 분석이 수행되었다.

① 감마동위원소

솔잎시료에서 검출된 핵종은 우주선에 의하여 대기 중에서 생성되는 ^7Be 과 자연방사성 핵종인 ^{40}K 이며, 인공핵종은 모두 MDA 이하로 나타났다. (부록 표 15).

(7) 빗물

빗물시료의 채취는 삼중수소, 전베타 방사능과 감마동위원소의 경우 대덕 원자력시설 부지 내 4 개 지점과 비교지점 1 곳에서 실시하였으며 빗물의 시료 채취 빈도는 월 1 회이었다.

① 삼중수소

빗물에 대한 삼중수소의 분석결과를 그림 2-18에 나타내었다. 본관동동쪽 지점 2.50 Bq/L, 독신료 지점 2.83 Bq/L, 기상탑 지점 2.50 Bq/L, 제3연구동 지점 3.64 Bq/L이며, 연산주말농장 지점은 MDA 이하로 나타났다(부록 표 16).

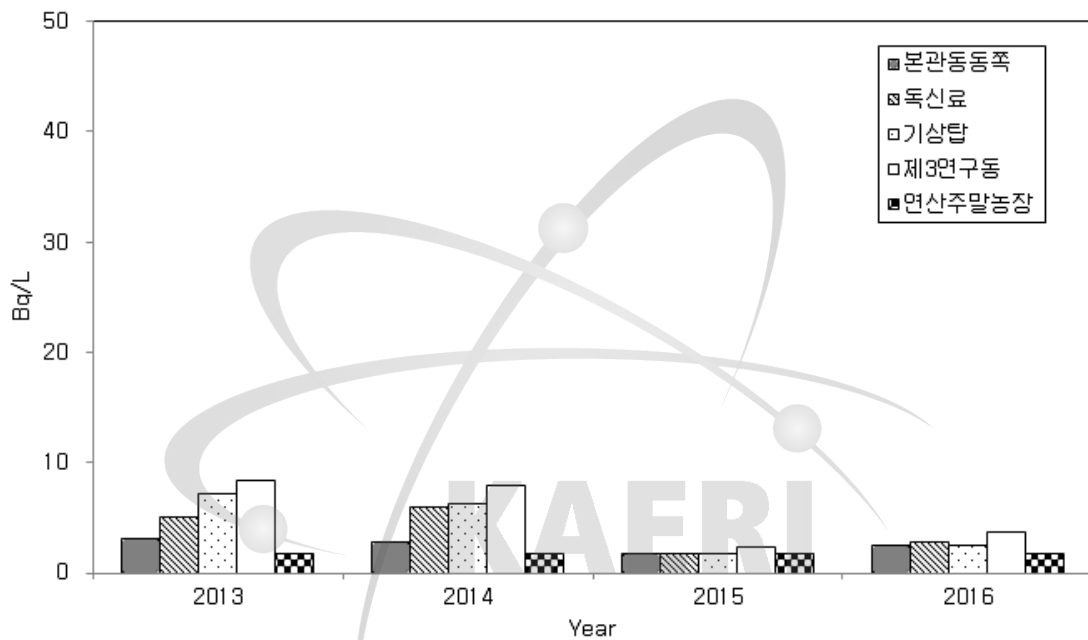


그림 2-18. 대덕 원자력시설 주변 빗물의 방사능 농도 (삼중수소)

② 전베타 방사능

빗물에 대한 전베타 방사능의 연평균을 그림 2-19에서 보면 독신료 지점에서 0.114 Bq/L, 기상탑 지점 0.0471 Bq/L, 본관동동쪽 지점 0.0447 Bq/L, 제3연구동 지점 0.0633 Bq/L, 비교 지점인 연산주말농장 지점에서 0.0604 Bq/L로 독신료 지점을 제외하고 전년도와 비슷한 준위를 유지하고 있었다(부록 표 17). 다만, 11월 독신료의 전베타 값이 0.735 Bq/L로 3년 평균치(0.0891 Bq/L)보다 5배 이상이 높아 일시증가 보고되었으며, 이는 시료채취 환경 중 낙엽 등에 의한 식물의 유기물 침출수에 함유된 K-40에서 기인한 것으로 판단된다. 전베타 방사능은 동절기에는 상대적으로 높고 하절기에는 낮은 경향이 있다.

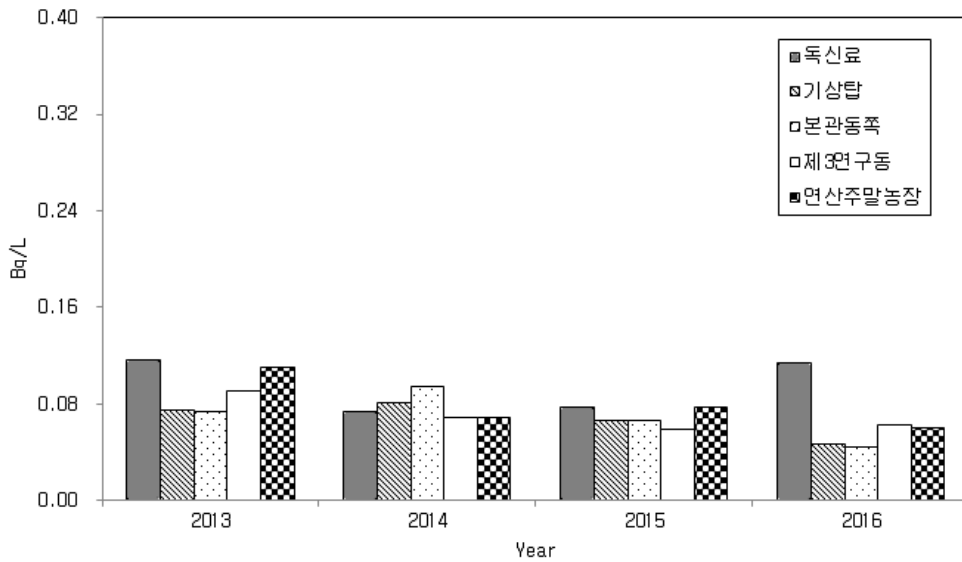


그림 2-19. 대덕 원자력시설 주변 빗물의 방사능 농도 (전베타)

③ 감마동위원소

빗물시료에 대한 감마동위원소 분석결과 조사대상 인공핵종이 모두 MDA 이하로 나타났다. (부록 표 18)

(8) 지표수

지표수시료는 대덕 원자력시설의 배수로를 따라 동화천에 이르기까지의 4 개 지점을 포함한 모두 6 개 지점에서 채취되었다. 채취된 지표수에 대하여는 삼중수소, 전베타 방사능 및 감마동위원소 분석이 수행되었다. 시료 채취 빈도는 월 1회이다.

① 삼중수소

지표수의 삼중수소 분석결과를 그림 2-20에 최근 3년간 농도 변동 추이와 함께 나타내었다. 부지 내 4 개 조사 지점에 대한 농도의 연평균을 살펴보면 덕진소류지 지점 2.44 Bq/L, 오페수처리장앞 지점 5.58 Bq/L, 정문앞배수구 지점 2.91 Bq/L, 본관동편배수구 지점 1.80 Bq/L으로 나타났다. 그리고 주변지역에서는 배수구합류지점 3.02 Bq/L, 연산주말농장 지점이 MDA 이하로 나타나 평상시변동범위로 유지되고 있었다(부록 표 19). 6 개 지점에서의 최근 3년간 삼중수소 방사능 농도(그림 2-20)를 보면 오페수처리장앞의 농도가 다른 지점보다 다소 높음을 알 수 있다.

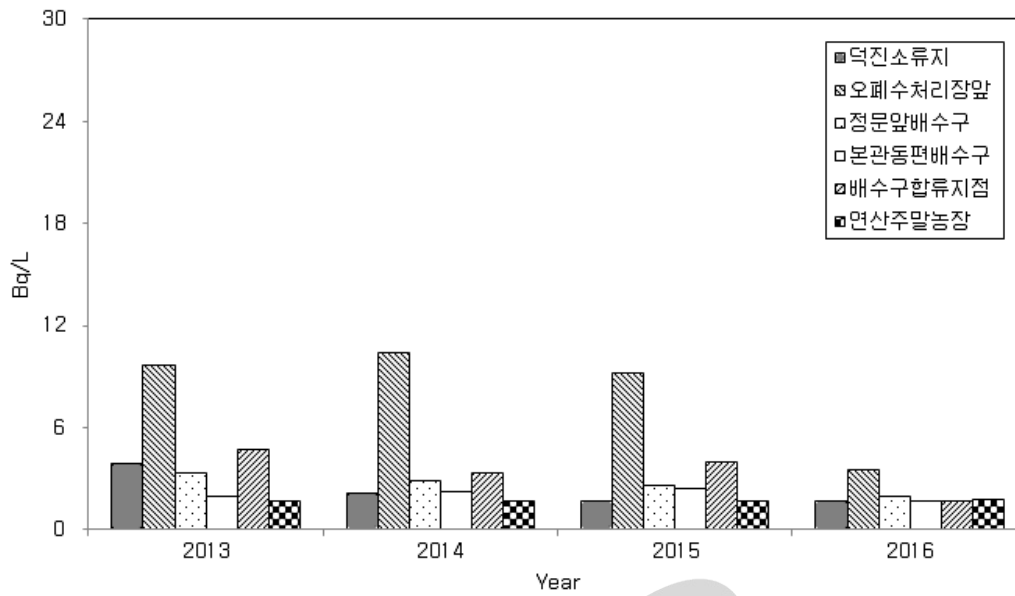


그림 2-20. 대덕 원자력시설 주변 지표수의 방사능 농도 (삼중수소)

② 전베타 방사능

지표수에 대한 전베타 방사능 농도의 지점별 연평균은 그림 2-21에서 나타나듯이 6 개 조사 지점에 대한 농도의 연평균을 살펴보면 정문앞배수구 지점 0.0924 Bq/L, 본관동편배수구 지점 0.106 Bq/L, 오폐수처리장 앞 지점 0.164 Bq/L, 덕진소류지 지점 0.0259 Bq/L, 배수구합류지점 0.0859 Bq/L 그리고 연산주말농장 지점 0.0364 Bq/L로서 평상시변동범위로 유지되고 있었다(부록 표 20).

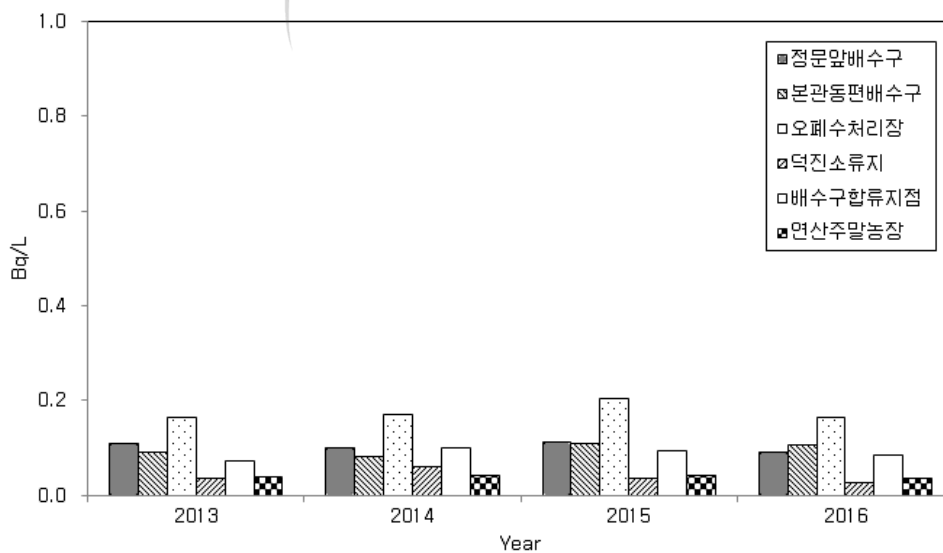


그림 2-21. 대덕 원자력시설 주변 지표수의 방사능 농도 (전베타)

③ 감마동위원소

지표수에 대한 감마동위원소 분석결과 조사대상 인공핵종이 모두 MDA 이하로 나타났다(부록 표 21).

(9) 지하수

지하수시료의 채취는 대덕 원자력시설 부지 내 및 주변지역 3 개 지점에서 실시하여 삼중수소와 감마동위원소 분석을 수행하였으며, 우라늄동위원소 분석은 보덕샘 시료에 대하여 실시하였다. 시료 채취 빈도는 분기 1회이었다.

① 우라늄 방사능

지하수시료의 우라늄동위원소 조사는 연구용원자로 핵연료가공시설 가동 및 우라늄 변환시설 해체에 따른 추가 핵종으로서 2003년 하반기부터 수행하였다. 보덕샘 지점에서의 ^{238}U 의 분기별 농도를 살펴보면 1/4 분기 1,810 mBq/L, 2/4 분기 2,070 mBq/L, 3/4 분기 1,930 mBq/L, 4/4 분기 1,840 mBq/L이며 연평균 농도는 1,910 mBq/L이었다(부록 표 22). 부지 내 지점들의 ^{238}U 의 농도가 비교지점 보다 높은 것은 지리적 특성에 기인한 것으로 판단되며, 과거 조사 결과에서 역시 평상시 변동범위는 비슷한 수준으로 나타난다.

② 삼중수소

그림 2-22에서와 같이 지하수의 삼중수소 분석결과를 보면 보덕샘 지점, 동화울 지점 및 연산주말농장 지점 모두 MDA 이하로서 평상시변동범위를 유지하고 있었다 (부록 표 23).

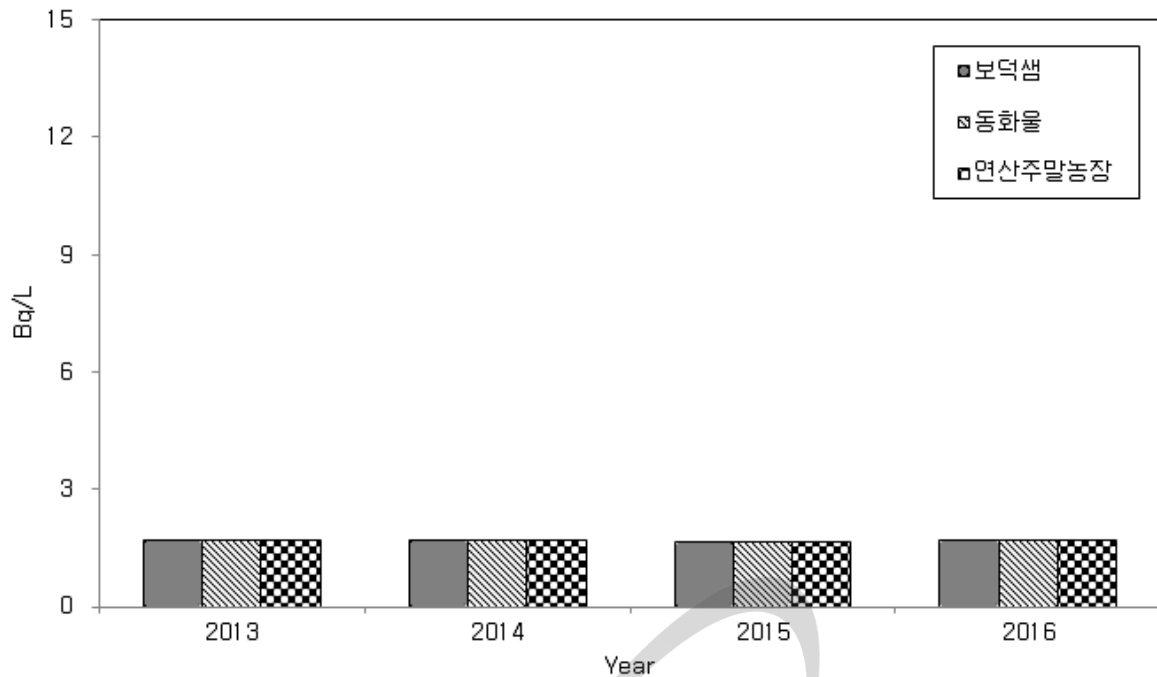


그림 2-22. 대덕 원자력시설 주변 지하수의 방사능 농도 (삼중수소)

③ 감마동위원소

지하수의 감마동위원소 분석결과를 살펴보면 자연방사성핵종인 ^{40}K 를 포함한 조사대상 핵종 모두 MDA 이하로 나타났다 (부록 표 24).

(10) 농산물

대덕 원자력시설 주변지역의 농산물에 대한 방사능 조사는 채소류에서 배추, 곡류에서 쌀을 대상으로 하였다. 시료는 4 개 지점에서 수확기에 현지에서 채취하였다. 배추시료는 스트론튬-90, 삼중수소 및 감마동위원소에 대한 방사능을 분석하였으며 쌀시료의 경우 감마동위원소 분석만 실시하였다.

① 스트론튬-90

배추에 대한 스트론튬-90 방사능 분석결과 주변지역인 동화울 지점 MDA 이하, 구즉초등학교 지점 0.0120 Bq/kg-fresh 이었다. 비교지점인 연서면 주민센터, 연산주말농장 지점 모두 MDA 이하로 나타났다(부록 표 25).

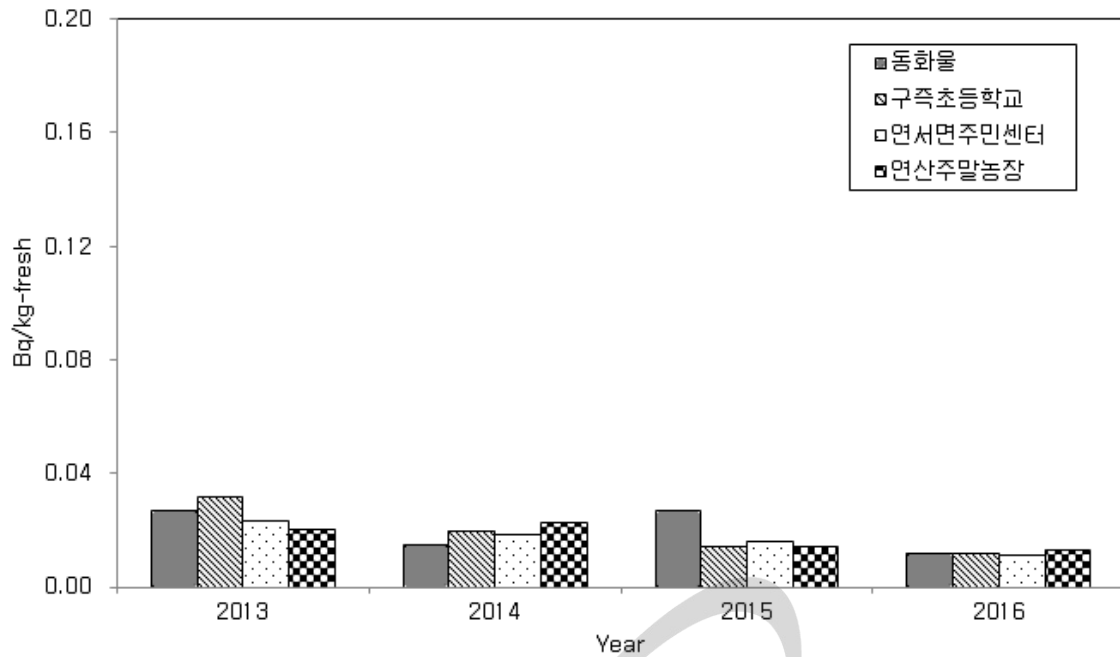


그림 2-23. 대덕 원자력시설 주변 농산물(배추)의 방사능 농도 (스트론튬-90)

② 삼중수소

배추시료의 삼중수소 방사능 농도에 대한 최근 3년간 추이를 그림 2-24에 나타내었으며 평상시변동범위로 유지되고 있었다. 4 개 지점 모두 MDA 이하로 나타났다 (부록 표 26).

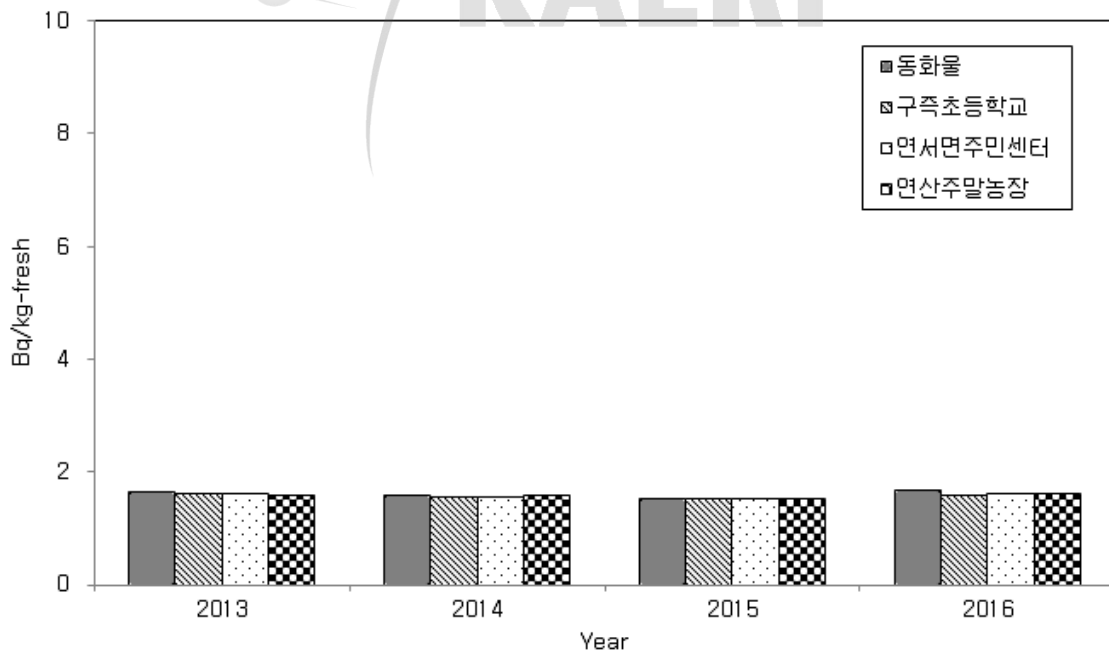


그림 24. 대덕 원자력시설 주변 농산물(배추)의 방사능 농도 (삼중수소)

③ 감마동위원소

농산물에 대한 감마동위원소 분석 결과 조사 대상 핵종 중 자연방사성핵종인 ^{40}K 가 측정되었으며, 쌀 시료가 배추시료에 비해 모든 지점에서 낮은 ^{40}K 농도를 나타냈다. 그 외의 인공 핵종에 대해서는 모두 MDA 이하였다 (부록 표 27).

(11) 축산물

대덕 원자력시설 주변지역의 축산물에 대한 방사능 분석은 가금류와 우유를 선정하였다. 가금류와 우유 시료에 대한 조사 빈도는 연간 2회이다. 가금류시료는 2 개 조사 지점에서 사육되는 닭을 대상으로 하였고, 우유 시료는 2016년 하반기부터 지점을 변경하여 채취를 시작하였다. 가금류에 대한 감마동위원소 분석 결과를 보면 자연방사성 핵종인 ^{40}K 이 평상시 변동 범위 이내였으며 그 외 조사대상 핵종은 MDA 이하로 나타났다 (부록 표 28, 표 29).



2. 서울 연구용원자로시설 부지 및 주변지역

가. 환경방사선 조사결과

(1) 공간감마선량률

TRIGA 연구로시설 부지 내 3 곳의 고정 지점에 설치된 환경방사선감시기로 공간감마선량률을 24 시간 연속 측정하였다. 그림 2-25에서 보면 2호기 (MW) 동쪽 지점에 위치한 감시기의 경우 연평균 공간감마선량률이 122 nGy/h의 준위를 나타내어 123 nGy/h의 전년도와 유사하였으며, 2호기 (MW) 서쪽 지점에 위치한 감시기의 경우 연평균 공간감마선량률이 108 nGy/h의 준위를 나타내어 111 nGy/h의 전년도와 유사하다. 한편, 1호기 (KW) 서쪽 지점에 위치한 감시기의 경우 연평균 공간감마선량률은 120 nGy/h로서 전년도의 118 nGy/h와 유사하다(부록 표 30). 그림 2-25에서 최근 3년간 서울 부지 내 공간감마선량률의 변동 추이는 큰 변화 없이 일정하였다.

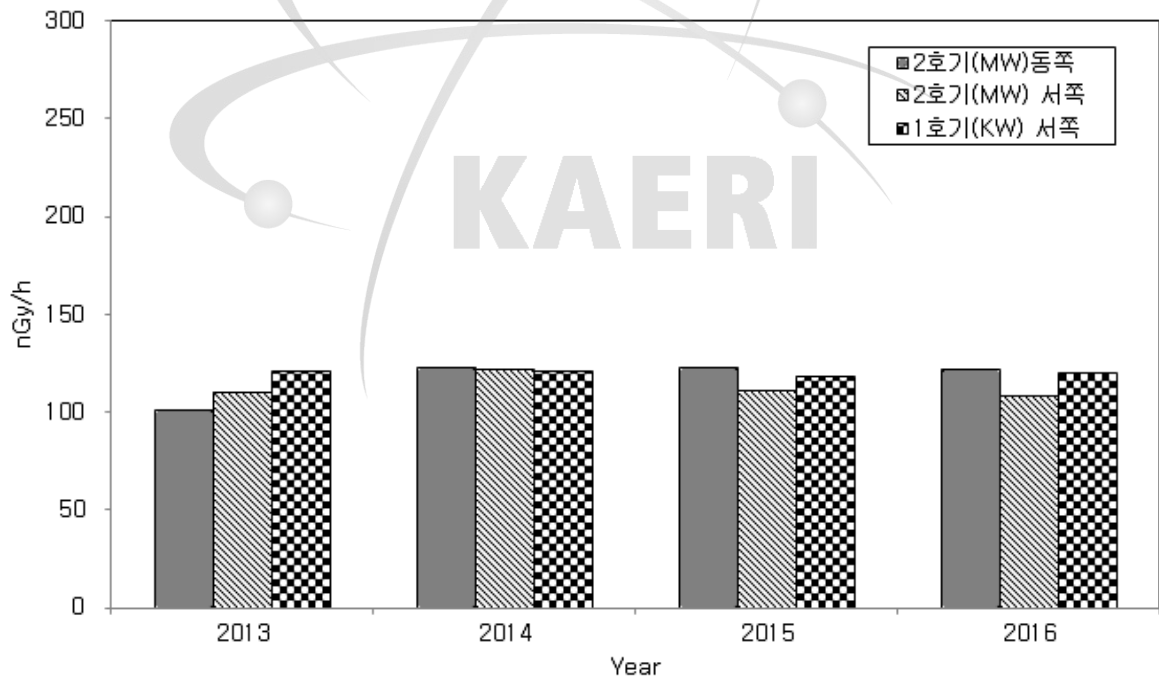


그림 2-25. TRIGA 연구로시설 주변 공간감마선량률 (환경방사선감시기)

(2) 집적선량

열형광선량계에 의한 집적선량은 부지 내의 9 개 지점과 주변지역 9 개 지점에 열형광선량계를 설치하여 3 개월간의 집적방사선량을 열형광계측기로 분기별로 분석하였다. 조사 지점에서의 분기별 집적선량에 대한 조사 결과를 그림 2-26에서 보면 부지 내와 주변지역에서의 차이는 크지 않으며 최근 3년간 일정하게 유지되고 있었다. 조사 기간 동안 집적선량의 연평균은 부지 내 225 $\mu\text{Gy}/\text{분기}$, 주변지역 230 $\mu\text{Gy}/\text{분기}$ 로 전년도와 비슷하게 유지되고 있었다 (부록 표 31).

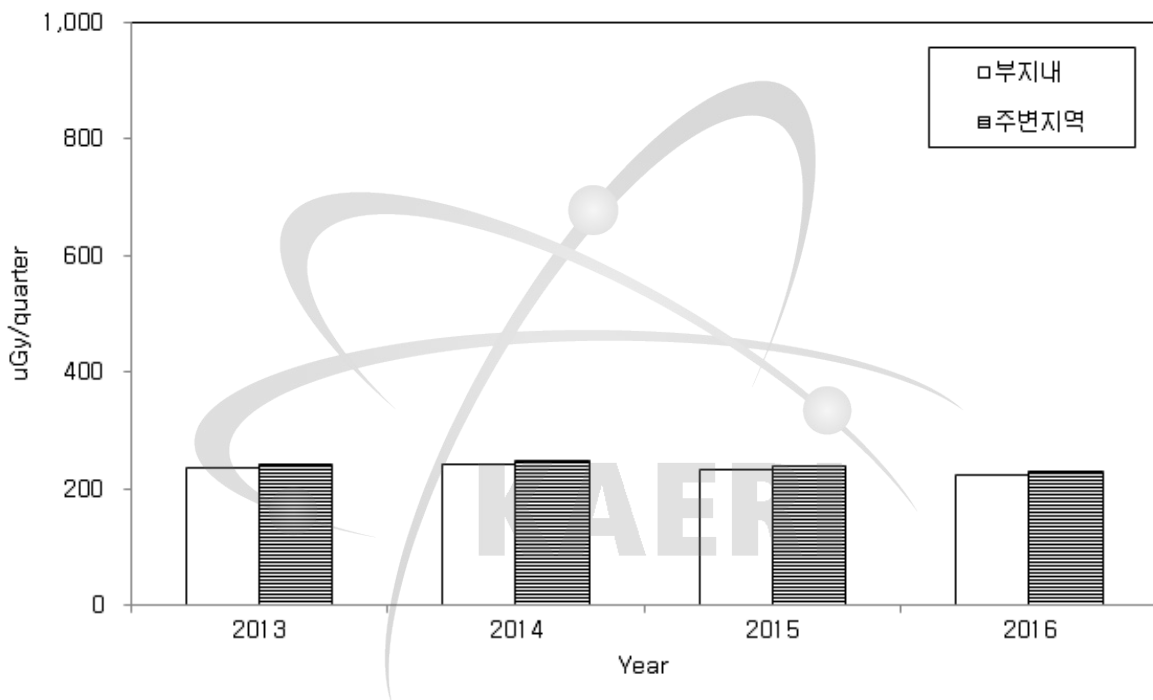


그림 26. TRIGA 연구로시설 주변 집적선량 (열형광선량계)

나. 환경방사능 조사결과

(1) 공기 중 미립자

TRIGA 연구로시설 부지 내 및 주변지역에 대한 공기 중 미립자의 조사는 비교지점 1 개 지점을 포함하여 모두 4 개 지점에서 수행하였다. 시료는 7일에 한 번씩 채취하여 매월 분석하였다.

① 전베타 방사능

그림 2-27에서와 같이 전베타 방사능 농도에 대한 연평균을 살펴보면 2호기(MW) 앞 지점 1.29 mBq/m³, 2호기(MW) 뒤 지점 1.17 mBq/m³, 1호기(KW) 앞 지점 1.30 mBq/m³, 그리고 한전기계실 옆 지점 1.20 mBq/m³로 측정되었다. 부지 내 조사 지점에 대한 전베타 방사능 농도 연평균은 1.25 mBq/m³로 전년도와 비슷하게 유지되고 있었다. 공기 중 미립자에서의 전베타 방사능 농도는 습기가 많은 하절기보다 건조한 동절기가 다소 높은 경향이 있다 (부록 표 32).

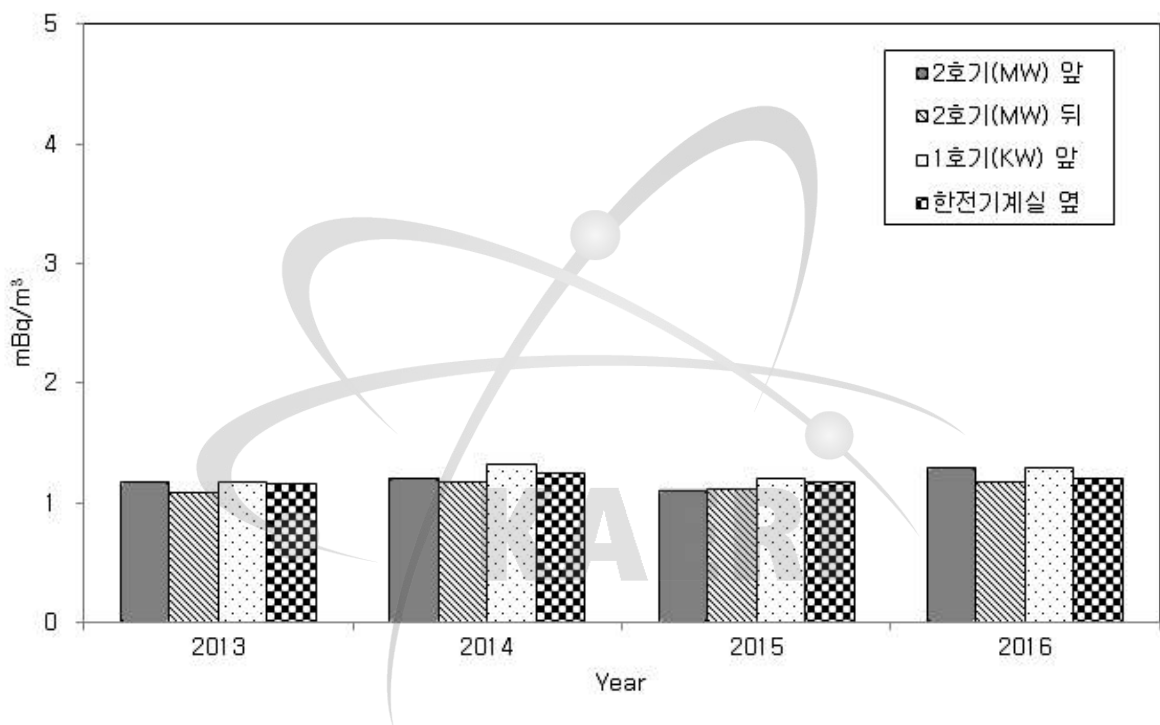


그림 2-27. TRIGA 연구로시설 주변 공기 중 미립자의 방사능 농도 (전베타)

② 감마동위원소

공기 중 미립자에 대한 감마동위원소 분석 결과 자연방사성핵종인 ⁷Be만 측정되었으며 그 외의 감시대상 핵종들은 MDA 이하로 나타났다 (부록 표 33).

(2) 표층토양

TRIGA 연구로시설 부지 내 및 주변지역에 대한 표층토양의 시료채취 지점은 모두 4 개 지

점으로 연간 2 회 채취하여 스트론튬-90 및 감마동위원소 분석을 수행하였다.

① 스트론튬-90 방사능

그림 2-28에서와 같이 표층토양시료에서의 스트론튬-90 분석 결과 부지 내 평균 농도가 상반기에 0.208 Bq/kg-dry, 하반기에 0.227 Bq/kg-dry로 검출되었다. 부지 내 연평균 농도는 0.217 Bq/kg-dry로서 전년도와 비슷하게 유지되고 있었다(부록 표 34).

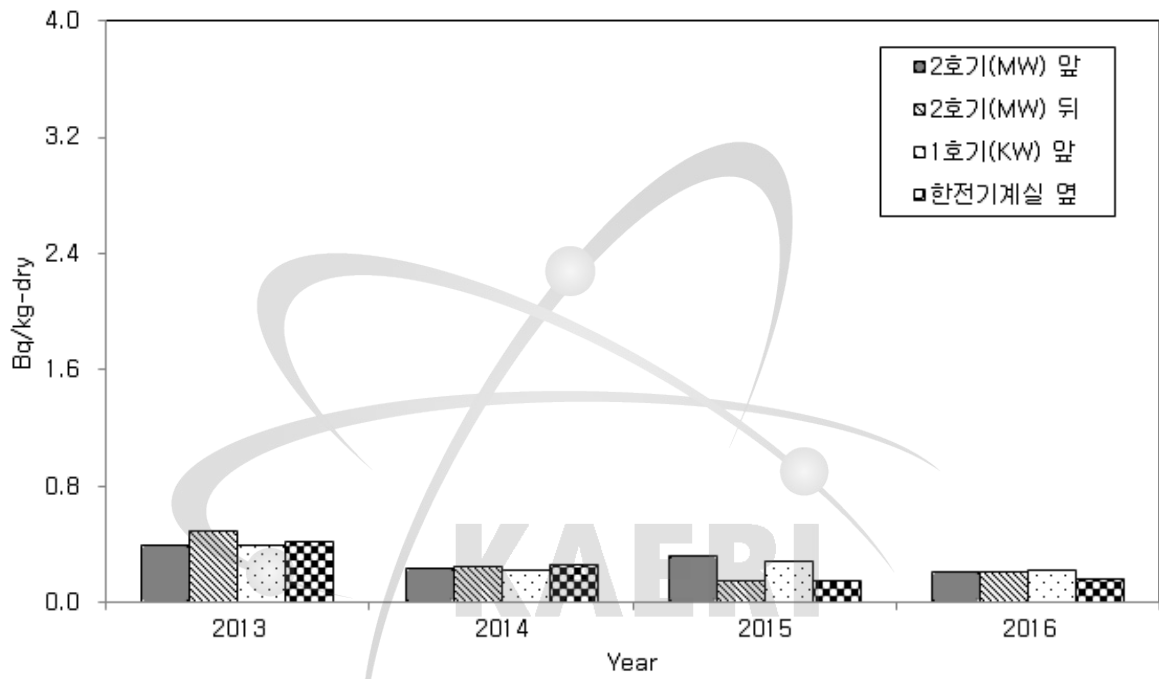


그림 2-28. TRIGA 연구로 시설 주변 표층토양의 방사능 농도 (스트론튬-90)

② 감마동위원소

표층토양시료의 감마동위원소 분석은 4 개 지점에서 채취된 시료에 대해서 실시하였다. 분석 결과 조사대상 핵종 중 자연 방사성 핵종인 ⁴⁰K은 대부분 시료에서 검출되었으며, 나머지 감시핵종은 모두 MDA 이하였다(부록 표 35).

(3) 하천토양

하천토양의 시료는 TRIGA 연구로시설 부지 내에서 서울과학기술대학 정문에 이르는 하천

을 따라 2 개 지점에서 분기별 채취하였으며 각 채취 지점에 대한 감마동위원소를 분석하였다. 분석 결과 자연방사성핵종인 ^{40}K 핵종이 측정되었으며 정상시변동범위를 유지하고 있었다. 그리고 나머지 감시핵종들은 모두 MDA 이하의 값이었다(부록 표 36).

(4) 지표수

TRIGA 연구로시설 주변지역의 지표수 시료는 2 개 지점에서 월별로 채취하여 전베타 방사능, 삼중수소 및 감마동위원소에 대한 분석을 수행하였다.

① 전베타 방사능

지표수에 대한 전베타 방사능 분석결과를 살펴 보면 그림 2-29에서와 같이 서울과학기술대학연못 지점 0.124 Bq/L, 광운대학교 지점 0.229 Bq/L로 검출되어 정상시변동범위를 유지하고 있었다 (부록 표 37).

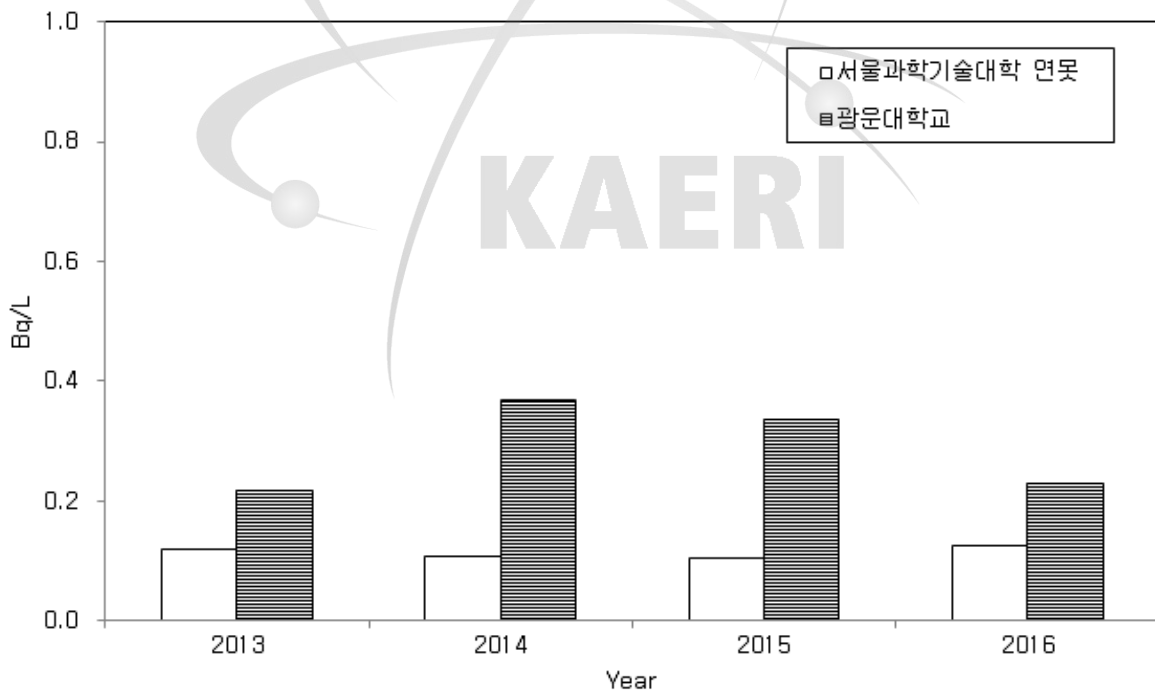


그림 2-29. TRIGA 연구로시설 주변 지표수의 방사능 농도 (전베타)

② 삼중수소

지표수의 삼중수소 방사능 농도는 그림 2-30에서와 같이 서울과학기술대학연못 지점과 광운대학교 지점에서 모두 MDA 값 이하로 나타났다 (부록 표 38).

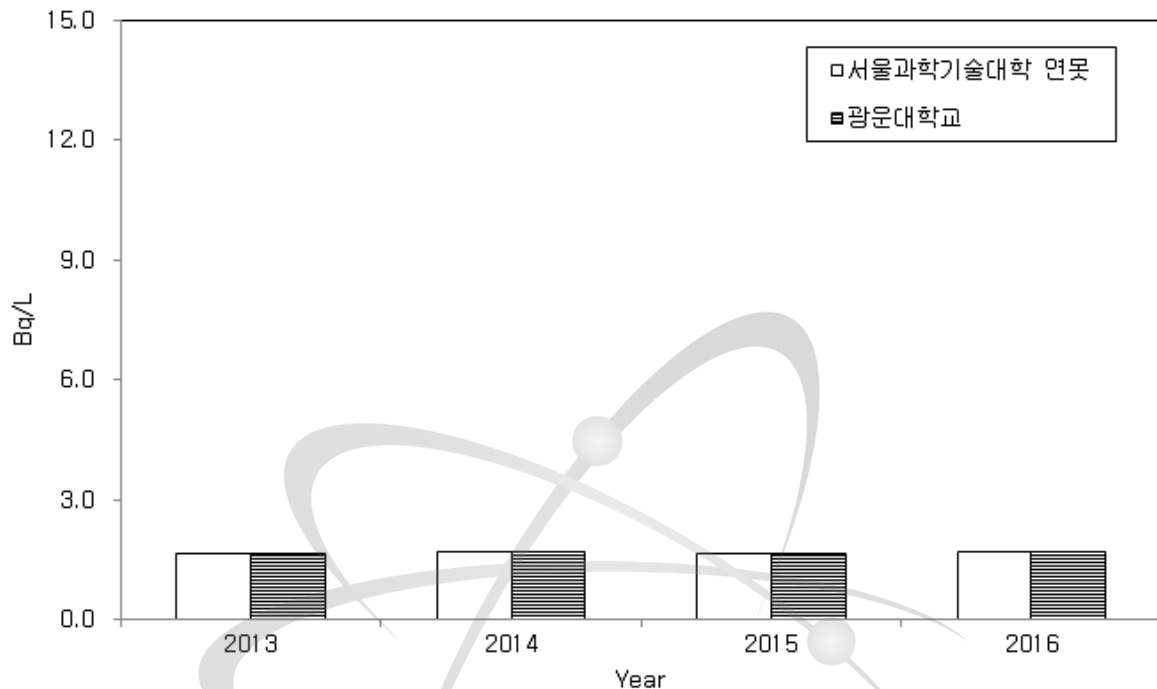


그림 2-30. TRIGA 연구로시설 주변 지표수의 방사능 농도 (삼중수소)

③ 감마동위원소

TRIGA 연구로시설 주변지역 지표수에서의 감마동위원소 분석 결과 ^{131}I 를 제외한 조사대상 인공핵종 모두 MDA 값 이하로 나타났다. 비교지점인 광운대학교 지점에서 ^{131}I 이 정상시변동 범위 이내로 검출되었다(부록 표 39). 이는 방사성옥소 투여환자의 배설물이 하천에 유입되어 미량 검출된 것으로 판단된다.

(5) 지하수

TRIGA 연구로시설 주변에 대한 지하수의 시료채취는 부지 내의 보일러건물 앞에서 분기별로 채취하여 삼중수소와 감마동위원소를 분석하였다.

① 삼중수소

지하수에 대한 삼중수소 방사능 분석 결과를 보면 4분기 모두 MDA 이하의 값이었다 (부록 표 40). 그림 2-31에서는 최근 3년간 변동 추이를 나타내었다.

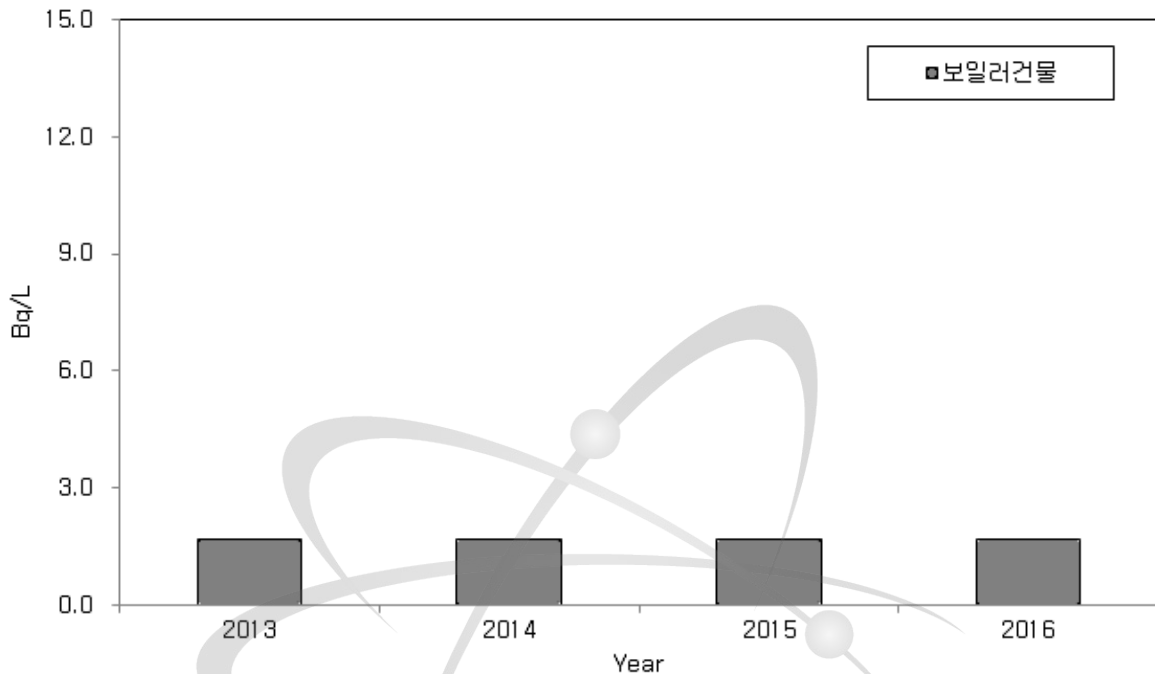


그림 2-31. TRIGA 연구로시설 주변 지하수의 방사능 농도 (삼중수소)

② 감마동위원소

지하수에 대한 감마동위원소 분석 결과 조사대상 인공핵종이 MDA 이하로 나타났다 (부록 표 41).

3. 기상 및 대기 확산

기상탑 철골 구조물에 대한 안전점검은 연 1회, 리프트의 안전점검은 2개월마다 실시하였다. 5월 24일부터 6월 9일, 10월 20일부터 11월 4일 사이에 풍향, 풍속, 온도 습도계는 외부 전문업체에서 교정받은 후 교체하여 설치하였고, 강수량계와 시정계는 직접 교정을 실시하였다.

가. 기상관측자료 수집

2월 26, 28일 67 m에서 접속 불안정으로 결측된 것과 교정 등으로 인한 결측을 제외한 기상 관측률은 99.8 %였다.

나. 기상관측자료 분석

국지기상의 기후통계적 분석을 위하여 표 3-1 ~ 표 3-3에서와 같이 바람자료의 풍향, 풍속별 발생빈도를 계산하였으며 연간 바람장미를 그림 3-1에 제시하였다. 바람장미를 보면 연평균 최다 풍향은 67 m에서 남서풍, 27 m에서 서남서풍, 10 m에서 북풍으로 나타났으며 전반적으로 남서풍과 북서풍 계열이 우세하였다. 연간 정온상태(calm)의 분포는 67 m의 경우 전년의 0.5 %에서 0.6 %로, 27 m에서는 1.9 %에서 1.5%로, 10 m에서는 5.6 %에서 5.8 %로 전년과 비슷한 분포를 보였다.

각 기상관측요소들의 평균, 최대, 최소값 등을 분석한 자료를 표 3-4부터 표 3-7까지에 각각 나누어 실었다. 표 3-4는 매월의 최다풍향, 평균풍속, 최대풍속과 그때의 풍향, 발생시간을 높이별로 정리한 것이다. 67 m 측정높이에서 1년간 탁월풍은 남서풍(11.7 %)이나 북북서풍(11.2 %), 서남서풍(9.9 %), 북풍(8.0 %)도 많이 나타나 전년과 비슷한 경향을 보였다. 연평균 풍속은 67 m에서 2.3 m/s, 27 m에서 1.6 m/s, 10 m에서 0.8 m/s로 전년과 크게 다르지 않았다.

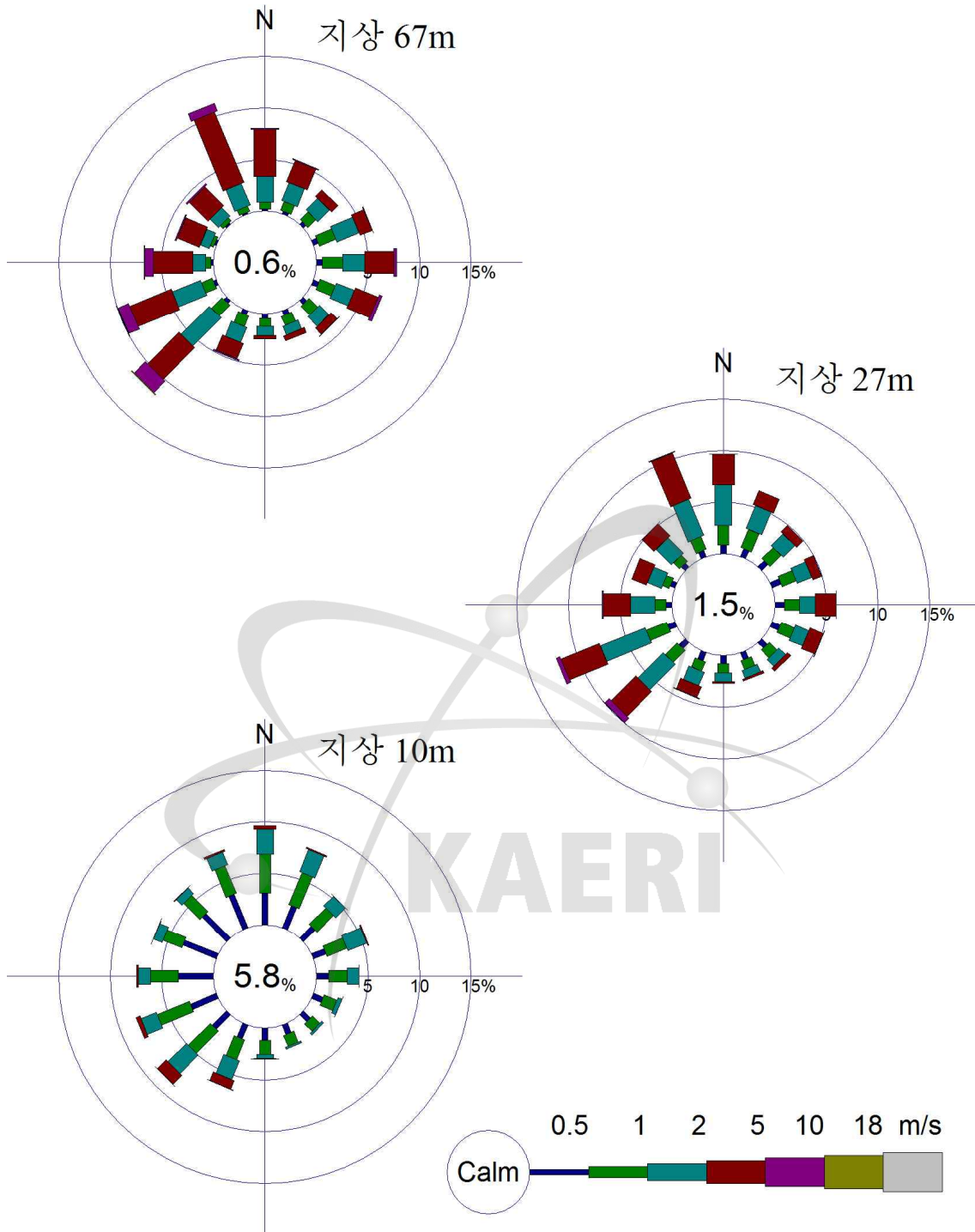


그림 3-1 연간 바람장미(Annual wind rose)
 (동심원내 숫자는 정온상태 발생빈도의 백분율을 나타냄)

표 3-5와 표 3-6에 각각 기온과 상대습도의 평균, 최대, 최소값 등을 실었다. 연평균 기온은 67 m에서 13.4 ℃, 27 m에서 13.4 ℃, 10 m에서 13.2 ℃, 백엽상이 위치한 1.5 m에서 13.2 ℃로 전년에 비해 0.3 ~ 0.5 ℃ 정도 높게 관측되었다. 연평균 상대습도는 67 ~ 70 %로 전년과 비슷하였다.

표 3-7은 일사, 기압, 강우, 시정, 안개발생시간 등에 대한 연간통계값을 나타낸다. 연간 강수량은 1135.0 mm로 전년(758.3 mm)에 비해 많이 증가하였다.

관측된 자료는 온라인으로 연결되어 원자력시설의 방사성물질 누출시 실시간 확산 및 피폭 예측에 이용되기도 하지만, 1년간 대기안정도 및 풍향, 풍속구간별 발생빈도를 계산하여 방사성물질의 장기간 확산 및 피폭선량 평가에 이용한다. 매 10분마다 측정된 기상자료를 통계처리하여 대기안정도와 풍향, 풍속별 발생빈도를 3개 높이의 관측위치마다 계산하였으며 이를 표 3-8에 제시하였다.

표 3-1. 대기안정도의 연간 발생빈도의 연도별 추이

대기안정도	2013	2014	2015	2016
A	10.34	6.25	4.90	6.67
B	4.69	4.09	2.98	3.37
C	4.82	4.15	3.28	3.74
D	25.19	25.51	25.40	26.17
E	35.85	34.86	37.58	37.64
F	16.43	21.29	22.08	19.78
G	2.67	3.84	3.77	2.64

표 3-2. 풍속구간별 연간 발생빈도의 연도별 추이 (67m)

풍속 (m/sec)	2013	2014	2015	2016
calm	8.81	0.60	0.54	0.56
0.23 ~ 0.50	5.75	5.91	5.75	5.67
0.51 ~ 0.75	6.53	7.75	7.72	8.00
0.76 ~ 1.00	6.89	8.06	7.94	8.42
1.01 ~ 1.50	13.70	15.21	14.93	15.41
1.51 ~ 2.00	13.37	13.97	13.25	13.95
2.01 ~ 3.00	19.98	21.00	21.85	22.21
3.01 ~ 5.00	18.44	20.77	21.23	20.00
5.01 ~ 7.00	5.07	5.59	5.43	4.35
7.01 ~ 10.00	1.24	1.06	1.19	1.26
10.01 ~ 13.00	0.20	0.05	0.16	0.15
13.01 ~ 18.00	0.03	0.02	0.00	0.02
>18.00	-	-	-	-

표 3-2. 계속 (27m)

풍속 (m/sec)	2013	2014	2015	2016
calm	12.32	1.89	1.93	1.54
0.23 ~ 0.50	10.81	12.18	12.34	11.99
0.51 ~ 0.75	9.38	10.92	10.64	11.05
0.76 ~ 1.00	9.00	10.13	9.67	10.20
1.01 ~ 1.50	16.38	17.48	16.93	18.51
1.51 ~ 2.00	14.12	14.80	15.83	15.79
2.01 ~ 3.00	16.99	19.58	20.13	19.75
3.01 ~ 5.00	9.44	11.79	11.13	9.81
5.01 ~ 7.00	1.30	1.13	1.25	1.22
7.01 ~ 10.00	0.24	0.08	0.14	0.13
10.01 ~ 13.00	0.02	0.01	-	0.01
13.01 ~ 18.00	-	-	-	-
>18.00	-	-	-	-

표 3-2. 계속 (10m)

풍속 (m/sec)	2013	2014	2015	2016
Calm	28.36	5.07	5.58	5.82
0.23 ~ 0.50	24.04	31.12	32.90	33.59
0.51 ~ 0.75	15.61	21.02	20.65	22.03
0.76 ~ 1.00	10.86	14.29	14.52	14.32
1.01 ~ 1.50	11.86	16.81	16.32	15.03
1.51 ~ 2.00	5.16	7.06	6.28	5.51
2.01 ~ 3.00	3.26	4.09	3.27	3.05
3.01 ~ 5.00	0.78	0.53	0.46	0.59
5.01 ~ 7.00	0.06	0.02	0.01	0.04
7.01 ~ 10.00	-	-	-	0.00
10.01 ~ 13.00	-	-	-	0.00
13.01 ~ 18.00	-	-	-	0.00
>18.00	-	-	-	-

표 3-3. 풍향별 연간 발생빈도의 연도별 추이 (67m)

풍향	2013	2014	2015	2016
Calm	8.81	0.60	0.54	0.56
N	7.42	8.16	7.85	7.99
NNE	4.29	5.24	5.13	5.35
NE	2.66	3.78	3.93	3.91
ENE	3.80	6.53	6.53	5.84
E	5.13	9.79	9.29	7.77
ESE	4.59	8.00	7.50	6.77
SE	3.02	3.52	3.48	3.86
SSE	2.11	2.23	2.36	2.84
S	1.92	2.07	2.08	2.46
SSW	5.17	4.69	4.70	4.85
SW	13.87	11.93	11.48	11.66
WSW	10.29	9.85	9.21	9.93
W	7.58	6.33	7.12	6.68
WNW	4.33	3.62	4.02	3.88
NW	4.27	4.38	4.67	4.51
NNW	10.75	9.28	10.12	11.16

표 3-3. 계속 (27m)

풍향	2013	2014	2015	2016
Calm	12.32	1.89	1.93	1.54
N	8.09	8.88	8.93	9.67
NNE	4.96	5.81	5.97	6.59
NE	3.23	4.40	4.54	4.86
ENE	3.19	5.34	5.42	4.88
E	3.71	7.52	7.14	5.96
ESE	3.58	5.95	5.26	5.05
SE	2.35	2.83	2.91	3.14
SSE	1.65	2.12	2.30	2.66
S	1.64	2.25	2.31	2.70
SSW	3.95	4.32	4.83	4.38
SW	12.09	10.72	10.21	9.92
WSW	12.46	11.59	11.26	12.01
W	7.26	6.56	6.89	6.76
WNW	4.24	4.30	4.18	4.18
NW	4.58	5.60	5.31	5.08
NNW	10.70	9.93	10.58	10.62

표 3-3. 계속 (10m)

풍향	2013	2014	2015	2016
Calm	28.36	5.07	5.58	5.82
N	7.18	9.02	9.58	9.62
NNE	4.43	7.62	7.94	8.11
NE	2.62	4.90	4.99	5.22
ENE	2.91	7.10	6.29	5.48
E	2.18	4.97	4.60	4.12
ESE	1.54	3.14	2.85	2.76
SE	1.21	2.11	2.20	2.22
SSE	1.06	1.89	2.23	2.31
S	1.57	2.02	2.39	2.99
SSW	7.55	5.69	5.59	6.37
SW	8.01	8.30	8.19	8.69
WSW	7.88	8.81	8.58	8.10
W	6.14	7.77	8.00	7.47
WNW	5.15	6.91	6.88	6.40
NW	5.52	6.75	6.46	6.41
NNW	6.70	7.94	7.64	7.91

표 3-4. 풍향, 풍속의 연간통계값 (Annual statistics of wind direction and speed)

높이	67 m				27 m				10 m			
	월	최다풍향 (%)	풍속 (m/sec)		최다풍향 (%)	풍속 (m/sec)		최다풍향 (%)	풍속 (m/sec)			
평균			최대: 풍향(월/일)	평균		최대: 풍향(월/일)	평균		최대: 풍향(월/일)			
16_01	NNW (14.8)	2.0	7.9	NNW (1/18)	NNW (15.2)	1.5	6.1	NNW (1/18)	N (15.1)	0.8	3.2	N (1/18)
16_02	W (15.7)	2.6	9.8	NNW (2/28)	WSW (17.5)	1.9	7.8	WSW (2/14)	WSW (12.3)	0.9	14.7	NW (2/29)
16_03	SW (15.7)	2.3	9.9	SW (3/29)	NNW (13.1)	1.7	7.3	SSW (3/29)	N (12.3)	0.9	4.4	SSW (3/29)
1/4분기	SW (13.0)	2.3	9.9	SW (3/29)	WSW (13.8)	1.7	7.8	WSW (2/14)	N (12.8)	0.9	14.7	NW (2/29)
16_04	SW (15.6)	2.6	16.0	SW (4/17)	SW (13.5)	1.9	10.8	SW (4/17)	SW (10.9)	0.9	5.9	SW (4/17)
16_05	SW (14.4)	2.5	13.4	WSW (5/ 3)	WSW (14.2)	1.8	9.1	W (5/ 4)	SW (11.1)	0.8	4.2	WSW (5/ 3)
16_06	SW (12.7)	2.3	9.4	WSW (6/25)	WSW (14.4)	1.6	6.5	WSW (6/25)	SW (13.0)	0.7	5.2	S (6/22)
2/4분기	SW (14.2)	2.5	16.0	SW (4/17)	WSW (13.4)	1.8	10.8	SW (4/17)	SW (11.7)	0.8	5.9	SW (4/17)
16_07	SW (15.2)	2.2	9.3	SW (7/16)	SW (14.9)	1.6	6.5	SW (7/16)	SW (13.3)	0.7	5.1	SSW (7/ 5)
16_08	NNW (16.3)	2.3	13.6	WSW (8/31)	NNW (14.9)	1.6	9.1	WSW (8/31)	N (11.0)	0.7	4.2	WSW (8/13)
16_09	E (13.5)	2.0	11.1	SW (9/ 1)	N (11.2)	1.4	7.6	SW (9/ 1)	ENE (10.3)	0.6	4.3	SSW (9/ 1)
3/4분기	NNW (10.6)	2.2	13.6	WSW (8/31)	N (11.3)	1.6	9.1	WSW (8/31)	SW (8.8)	0.7	5.1	SSW (7/ 5)
16_10	E (13.3)	2.2	7.7	ESE (10/23)	E (10.7)	1.6	5.5	E (10/23)	ENE (10.5)	0.6	4.0	SSW (10/ 3)
16_11	NNW (14.2)	2.0	7.9	ESE (11/ 6)	WSW (13.1)	1.4	5.6	ESE (11/ 6)	N (11.1)	0.7	2.8	SW (11/ 4)
16_12	NNW (13.7)	2.2	12.5	SW (12/22)	WSW (14.2)	1.6	8.7	SW (12/22)	N (11.8)	0.8	5.1	SSW (12/22)
4/4분기	NNW (13.2)	2.1	12.5	SW (12/22)	WSW (11.5)	1.5	8.7	SW (12/22)	N (10.3)	0.7	5.1	SSW (12/22)
년	SW (11.7)	2.3	16.0	SW (16_04)	WSW (12.0)	1.6	10.8	SW (16_04)	N (9.6)	0.8	14.7	NW (16_02)

표 3-5. 기온의 연간 통계값 (Annual statistics of temperature)

높이 월	67 m			27 m			10 m			1.5 m		
	평균	최고(월/일)	최저(월/일)	평균	최고(월/일)	최저(월/일)	평균	최고(월/일)	최저(월/일)	평균	최고(월/일)	최저(월/일)
16_01	-1.6	11.4 (1/ 3)	-16.7 (1/24)	-2.0	11.2 (1/ 3)	-17.4 (1/24)	-1.8	11.6 (1/ 3)	-17.8 (1/24)	-2.1	12.3 (1/ 2)	-18.5 (1/24)
16_02	1.2	17.6 (2/13)	-8.1 (2/ 2)	0.8	17.1 (2/13)	-9.5 (2/ 2)	1.0	17.8 (2/13)	-10.0 (2/ 2)	0.7	18.0 (2/13)	-10.8 (2/ 2)
16_03	7.0	19.9 (3/31)	-6.7 (3/ 1)	6.6	19.8 (3/31)	-7.8 (3/ 1)	6.8	20.4 (3/31)	-8.1 (3/ 1)	6.6	21.8 (3/31)	-9.2 (3/ 1)
1/4분기	2.2	19.9 (3/31)	-16.7 (1/24)	1.8	19.8 (3/31)	-17.4 (1/24)	2.0	20.4 (3/31)	-17.8 (1/24)	1.8	21.8 (3/31)	-18.5 (1/24)
16_04	14.3	27.4 (4/26)	6.2 (4/ 5)	14.0	27.5 (4/26)	4.9 (4/ 5)	14.1	28.0 (4/26)	4.3 (4/ 5)	14.2	29.2 (4/26)	3.4 (4/ 5)
16_05	19.2	29.6 (5/19)	9.1 (5/16)	18.8	29.5 (5/19)	8.6 (5/16)	18.7	29.7 (5/19)	8.3 (5/ 5)	18.9	31.5 (5/19)	7.8 (5/ 5)
16_06	22.4	29.7 (6/21)	15.1 (6/ 5)	22.8	30.2 (6/21)	15.1 (6/ 5)	22.4	30.1 (6/21)	14.1 (6/ 2)	22.7	31.6 (6/21)	13.6 (6/ 2)
2/4분기	18.7	29.7 (6/21)	6.2 (4/ 5)	18.5	30.2 (6/21)	4.9 (4/ 5)	18.4	30.1 (6/21)	4.3 (4/ 5)	18.6	31.6 (6/21)	3.4 (4/ 5)
16_07	25.3	31.8 (7/31)	19.3 (7/ 4)	25.7	32.3 (7/31)	19.8 (7/ 4)	25.3	32.3 (7/31)	19.4 (7/ 3)	25.5	33.9 (7/31)	19.4 (7/19)
16_08	26.5	34.2 (8/20)	16.1 (8/31)	26.9	34.9 (8/20)	16.3 (8/30)	26.3	34.4 (8/20)	15.4 (8/30)	26.6	36.2 (8/22)	15.5 (8/30)
16_09	21.5	29.6 (9/ 1)	13.6 (9/21)	21.9	30.2 (9/ 1)	13.5 (9/21)	21.3	29.9 (9/ 1)	12.1 (9/21)	21.5	30.4 (9/ 1)	11.8 (9/21)
3/4분기	24.5	34.2 (8/20)	13.6 (9/21)	24.9	34.9 (8/20)	13.5 (9/21)	24.3	34.4 (8/20)	12.1 (9/21)	24.6	36.2 (8/22)	11.8 (9/21)
16_10	15.2	26.0 (10/ 4)	2.8 (10/30)	15.5	26.7 (10/ 4)	2.0 (10/30)	15.0	26.4 (10/ 4)	0.4 (10/30)	15.1	27.4 (10/ 4)	0.0 (10/30)
16_11	6.7	20.0 (11/14)	-4.3 (11/24)	6.9	20.7 (11/14)	-4.4 (11/24)	6.9	21.4 (11/14)	-5.0 (11/24)	6.5	22.2 (11/14)	-5.7 (11/24)
16_12	2.0	14.1 (12/22)	-7.9 (12/16)	2.2	14.3 (12/22)	-8.0 (12/16)	2.4	14.6 (12/22)	-8.6 (12/16)	1.9	14.2 (12/ 5)	-9.7 (12/16)
4/4분기	8.0	26.0 (10/ 4)	-7.9 (12/16)	8.2	26.7 (10/ 4)	-8.0 (12/16)	8.1	26.4 (10/ 4)	-8.6 (12/16)	7.9	27.4 (10/ 4)	-9.7 (12/16)
년	13.4	34.2 (16_08)	-16.7 (16_01)	13.4	34.9 (16_08)	-17.4 (16_01)	13.2	34.4 (16_08)	-17.8 (16_01)	13.2	36.2 (16_08)	-18.5 (16_01)

표 3-6. 상대습도의 연간 통계값 (Annual statistics of relative humidity)

높이 월	67 m			27 m			10 m			1.5 m		
	평균	최고(월/일)	최저(월/일)	평균	최고(월/일)	최저(월/일)	평균	최고(월/일)	최저(월/일)	평균	최고(월/일)	최저(월/일)
16_01	67	100 (1/ 3)	24 (1/ 5)	68	100 (1/ 1)	25 (1/ 5)	68	100 (1/ 3)	24 (1/ 5)	71	100 (1/ 1)	24 (1/ 5)
16_02	59	100 (2/12)	11 (2/10)	61	100 (2/12)	14 (2/10)	61	100 (2/12)	15 (2/10)	64	100 (2/12)	16 (2/10)
16_03	55	100 (3/ 4)	14 (3/28)	57	100 (3/ 4)	15 (3/17)	57	100 (3/19)	14 (3/17)	59	100 (3/ 3)	14 (3/28)
1/4분기	61	100 (1/ 3)	11 (2/10)	62	100 (1/ 1)	14 (2/10)	62	100 (1/ 3)	14 (3/17)	65	100 (1/ 1)	14 (3/28)
16_04	61	100 (4/ 7)	10 (4/ 1)	62	100 (4/ 7)	11 (4/ 1)	61	100 (4/13)	10 (4/ 1)	64	100 (4/ 7)	10 (4/ 1)
16_05	59	100 (5/10)	11 (5/19)	61	100 (5/ 3)	13 (5/19)	62	100 (5/25)	14 (5/19)	64	100 (5/ 3)	14 (5/19)
16_06	70	99 (6/24)	23 (6/ 2)	73	100 (6/ 7)	25 (6/ 2)	74	100 (6/24)	24 (6/ 2)	71	98 (6/17)	22 (6/ 2)
2/4분기	63	100 (4/ 7)	10 (4/ 1)	66	100 (4/ 7)	11 (4/ 1)	66	100 (6/24)	10 (4/ 1)	66	100 (4/ 7)	10 (4/ 1)
16_07	79	99 (7/ 4)	49 (7/ 9)	82	100 (7/ 1)	51 (7/ 9)	83	100 (7/ 2)	51 (7/ 9)	81	99 (7/ 4)	48 (7/ 9)
16_08	70	98 (8/23)	30 (8/20)	73	100 (8/23)	31 (8/20)	75	100 (8/ 9)	32 (8/20)	73	97 (8/10)	29 (8/20)
16_09	77	99 (9/17)	40 (9/15)	79	100 (9/ 6)	42 (9/15)	81	100 (9/ 8)	43 (9/20)	78	97 (9/23)	38 (9/20)
3/4분기	75	99 (9/17)	30 (8/20)	78	100 (7/ 1)	31 (8/20)	80	100 (7/ 2)	32 (8/20)	77	99 (7/ 4)	29 (8/20)
16_10	74	99 (10/11)	16 (10/30)	77	100 (10/ 1)	19 (10/30)	79	100 (10/ 1)	19 (10/30)	78	99 (10/25)	19 (10/30)
16_11	66	100 (11/26)	18 (11/23)	67	98 (11/10)	16 (11/23)	72	100 (11/10)	21 (11/23)	71	99 (11/27)	18 (11/23)
16_12	66	100 (12/20)	18 (12/ 6)	66	98 (12/20)	18 (12/ 6)	72	100 (12/ 3)	24 (12/ 6)	71	99 (12/ 3)	21 (12/ 6)
4/4분기	69	100 (11/26)	16 (10/30)	70	100 (10/ 1)	16 (11/23)	74	100 (10/ 1)	19 (10/30)	73	99 (12/ 3)	18 (11/23)
년	67	100 (16_01)	10 (16_04)	69	100 (16_01)	11 (16_04)	70	100 (16_01)	10 (16_04)	70	100 (16_01)	10 (16_04)

표 3-7. 일사, 기압, 강우, 시정의 연간 통계값

(Annual statistics of solar radiation, pressure, precipitation and visibility)

월	일사량 (MJ/m ²)	최대일사율 (W/m ²)(월/일)	기 압 (hPa)			강 우 (mm)			시 정 (km)		안개발 생시간
			평균	최고(월/일)	최저(월/일)	합계	10분최다(월/일)	1시간최다(월/일)	평균	최저(월/일)	
16_01	184.6	651.5 (1/23)	1009.7	1018.8 (1/ 1)	995.7 (1/18)	5.9	0.4 (1/25)	0.8 (1/25)	11.3	0.1 (1/ 3)	21.3
16_02	271.2	849.9 (2/21)	1009.0	1020.2 (2/25)	986.0 (2/13)	51.1	3.6 (2/13)	5.4 (2/13)	14.1	0.2 (2/13)	36.7
16_03	432.8	934.9 (3/24)	1006.5	1014.6 (3/ 1)	995.1 (3/18)	31.7	2.0 (3/ 5)	7.7 (3/ 5)	12.1	0.1 (3/19)	20.7
1/4분기	888.6	934.9 (3/24)	1008.4	1020.2 (2/25)	986.0 (2/13)	88.7	3.6 (2/13)	7.7 (3/ 5)	12.5	0.1 (1/ 3)	78.7
16_04	441.9	961.3 (4/17)	999.0	1010.1 (4/19)	975.1 (4/17)	151.5	3.4 (4/16)	11.8 (4/17)	11.0	0.3 (4/13)	14.2
16_05	542.6	1015.9 (5/11)	997.5	1010.3 (5/14)	977.6 (5/ 3)	75.2	1.7 (5/ 3)	5.1 (5/ 3)	12.1	0.5 (5/25)	15.0
16_06	466.1	1013.0 (6/25)	993.8	1000.5 (6/ 6)	982.8 (6/24)	70.1	6.9 (6/30)	12.3 (6/30)	10.2	0.3 (6/24)	10.5
2/4분기	1450.6	1015.9 (5/11)	996.8	1010.3 (5/14)	975.1 (4/17)	296.8	6.9 (6/30)	12.3 (6/30)	11.1	0.3 (6/24)	39.7
16_07	403.2	1082.8 (7/17)	994.1	1001.4 (7/ 7)	985.0 (7/16)	295.2	11.0 (7/ 4)	32.6 (7/ 4)	11.6	0.2 (7/ 4)	6.8
16_08	461.4	955.6 (8/27)	992.1	997.7 (8/ 1)	976.2 (8/31)	95.2	8.8 (8/ 7)	14.0 (8/ 9)	12.9	0.3 (8/10)	10.0
16_09	285.6	926.4 (9/ 3)	999.1	1008.3 (9/21)	983.1 (9/ 1)	139.0	9.0 (9/12)	15.5 (9/12)	11.0	0.3 (9/30)	29.2
3/4분기	1150.2	1082.8 (7/17)	995.0	1008.3 (9/21)	976.2 (8/31)	529.4	11.0 (7/ 4)	32.6 (7/ 4)	11.8	0.2 (7/ 4)	46.0
16_10	224.6	850.8 (10/12)	1004.5	1016.8 (10/30)	991.0 (10/ 5)	131.9	4.8 (10/ 8)	9.9 (10/ 8)	11.8	0.1 (10/15)	43.7
16_11	172.6	663.7 (11/ 1)	1008.0	1019.0 (11/29)	997.3 (11/19)	32.6	1.4 (11/11)	3.9 (11/18)	10.7	0.1 (11/28)	49.5
16_12	154.9	515.5 (12/ 2)	1009.3	1019.2 (12/30)	991.6 (12/22)	55.6	1.5 (12/22)	7.4 (12/22)	11.5	0.2 (12/ 3)	6.3
4/4분기	552.1	850.8 (10/12)	1007.3	1019.2 (12/30)	991.0 (10/ 5)	220.1	4.8 (10/ 8)	9.9 (10/ 8)	11.3	0.1 (10/15)	99.5
년	4041.4	1082.8 (16_07)	1001.9	1020.2 (16_02)	975.1 (16_04)	1135.0	11.0 (16_07)	32.6 (16_07)	11.7	0.1 (16_01)	263.8

4. 주민선량평가

가. 개요

본 장에서는 한국원자력연구원 운영시설을 포함하여 대덕부지에 위치한 원자력관련시설의 운영으로 인한 부지 주변주민이 받게 되는 종합적 피폭선량 계산결과를 수록하였다. 대기확산 인자 및 침적인자는 미국 원자력규제위원회의 규제지침 1.111에 근거하여 개발된 전산프로그램 XOQDOQ를 사용하여 평가하였다. 동 프로그램에서에서 기상자료는 실측값 그대로가 아닌 대기안정도에 따른 풍향과 풍속의 발현빈도가 사용된다. 정온상태 (0.22 m/sec 이하)는 첫 번째 풍속등급 (0.23~0.50 m/sec)의 풍향의 빈도에 따라 분포시키고 정온상태와 첫 번째 풍속등급의 빈도의 합이 대기확산인자와 침적인자를 평가하기 위한 새로운 첫 번째 풍속등급 (0~0.50 m/sec)으로 설정하였다. 기체상 및 액체상 배출물에 의한 주민선량평가는 미국 원자력규제위원회의 규제지침 1.109에 근거하여 개발된 전산프로그램 GASDOS와 LIQDOS를 한국원자력연구원에서 국내 또는 부지 특성에 맞게 수정·보완한 ENDOS-G와 ENDOS-L을 사용하였다. 대덕 원자력부지에 위치한 주민선량 평가대상시설은 다음과 같다.

- ① 하나로, 조사후 시험시설, 방사성 폐기물 처리시설, 고화폐기물 시험시설, 자연증발시설, 연구로용 연료 가공시설, 가연성폐기물처리시설 (한국원자력연구원 운영)
- ② 원전연료가공시설 및 열분해시설 (한전원자력연료 운영)
- ③ RI 폐기물 관리시설

나. 방사성물질의 환경배출

(1) 환경배출기준치

기체상 및 액체상 배출물에 대한 기준치는 [표 4-1]과 같이 원자력안전위원회고시 제 2014-34호(방사선.01) “방사선방호 등에 관한 기준”, 제 16조(환경상의 위해방지)에 제시되어 있다.

표 4-1. 환경상의 위해 방지를 위한 기준치

구분	항목	시설당 기준치	부지당 기준치	비고
기체	감마선에 의한 공기의 흡수선량	0.1 mGy/yr	◦유효선량 0.25 mSv/yr ◦갑상선등가선량 0.75 mSv/yr	◦일반인 선량한도 1mSv/yr
	베타선에 의한 공기의 흡수선량	0.2 mGy/yr		
	외부피폭에 의한 유효선량	0.05 mSv/yr		
	외부피폭에 의한 피부등가 선량	0.15 mSv/yr		
	입자상 방사성물질, H-3, C-14 및 방사성 옥소에 의한 장기 등가선량	0.15 mSv/yr		
액체	유효선량	0.03 mSv/yr		
	장기 등가선량	0.1 mSv/yr		

(2) 환경배출량

① 기체상 배출물

대덕 부지에 위치한 원자력관련시설의 2016년도 운영에 따른 기체상 배출물의 환경배출량을 표 4-2에 나타냈다. 하나로의 경우 배출유량 등 배출특성이 달라 글뚝원 별로 배출량을 제시하였다.

② 액체상 배출물

대덕 부지에 위치한 원자력관련시설의 2016년도 운영에 따른 액체상 배출물의 환경배출량을 표 4-3에 나타냈다. 원전연료 가공시설의 액체상 배출물에서 극미량의 방사성핵종이 함유되어 환경으로 방류될 수 있으며, 그 외 시설에서 발생하는 모든 액체상 배출물은 자연증발시설에서 전량 증발 처리된다.

표 4-2. 기체상 배출물의 환경배출량

시 설 명		배출량 (Bq/yr)		배출유형
한국 원자력 연구원	하나로	원자로실굴뚝	H-3 7.65E+11	연속적 고공배출
		RCI 굴뚝	I-131 1.24E+02	
			H-3 1.32E+12	
		RIPF /IMEF 굴뚝	Kr-85 1.27E+11	
			I-131 2.24E+07	
H-3 1.38E+11				
보조굴뚝	I-131 4.03E+06			
합계	Kr-85 1.27E+11	I-131 2.64E+07	H-3 2.23E+12	

표 4-2. <계속>

시설명		배출량 (Bq/yr)		비고	
한국원자력 연구원	조사후 시험시설	Kr-85 Cs-137	7.19E+09 2.89E+03	◦연속적 고공배출	
	방사성 폐기물 처리시설	Cs-137 Cs-134	4.47E+04 5.53E+02	◦연속적 지표면배출	
	자연증발시설	H-3	2.17E+08	◦연속적 지표면배출	
	고화폐기물시험시설	-	핵종 미검출	◦연속적 지표면배출	
	연구로용 연료가공시설	-	핵종 미검출	◦연속적 고공배출	
	가연성폐기물처리시설	-	핵종 미검출	◦연속적 지표면배출	
기 타	한전 원자력 연료	핵연료1동	알파방사능 베타방사능	1.92E+05 3.68E+05	◦연속적 고공배출
		핵연료2동	알파방사능 베타방사능	5.74E+04 5.85E+04	◦연속적 혼합배출
		열분해시설	알파방사능 베타방사능	2.08E+02 4.87E+02	◦연속적 지표면배출
	한국 원자력 환경공단	RI 폐기물 관리시설	베타방사능	7.27E+04	◦연속적 지표면배출

(주) 보수적 선량평가를 위해 알파방사능은 U-234, 베타방사능은 Th-234로 가정함

표 4-3. 액체상 배출물의 환경배출량

시설명		배출량 (Bq/yr)		비고
한전원자력 연료	핵연료1동	알파방사능 베타방사능	8.83E+05 2.42E+06	-
	핵연료2동	알파방사능 베타방사능	3.50E+06 3.03E+06	-

(주) 보수적 선량평가를 위해 알파방사능은 U-234, 베타방사능은 Th-234로 가정함

(주) 기타 다른 시설로부터 발생되는 액체상배출물은 자연 증발시설에서 전량 증발처리

다. 주민선량 평가방법

(1) 인체 피폭경로

환경으로 배출된 기체상 및 액체상 배출물은 다양한 경로를 거쳐 최종적으로 인체에 대한 방사능 피폭영향을 주게 된다. 기체상 배출물에 의한 주민선량평가에서 고려되는 피폭경로는 다음과 같다.

- 방사성 플룸에 의한 외부피폭
- 오염 토양으로부터 외부피폭
- 오염 공기흡입에 의한 내부피폭
- 오염 음식물 섭취에 의한 내부피폭

액체상 배출물에 의한 주민선량평가에서 고려되는 피폭경로는 다음과 같다.

- 관개 농작물 섭취에 따른 내부피폭
- 오염 식수섭취에 따른 내부피폭
- 오염 수생식품 섭취에 따른 내부피폭
- 강변 침적물에 의한 외부피폭
- 수영에 의한 외부피폭

(2) 대기확산

대기확산인자 및 침적인자는 2016년 1월부터 2016년 12월까지 1년간 한국원자력연구원에 위치한 74.5 m 높이 기상관측탑의 3개 측정고도 (10 m, 27 m, 67 m)에서 관측된 자료를 사용하여 평가하였다. XOQDOQ 프로그램을 사용하여 평가된, 주변 주요 지역에서의 대기확산인자 및 침적인자를 표 4-4에 나타냈다. 아울러 최대피폭지점에서 대기확산인자 및 침적인자의 연도별 변화를 표 4-5에 나타냈다.

표 4-4. 주요 지역에서 대기확산인자 및 침적인자 (하나로)

방위	거리 (km)	지역	배출원	χ/Q	$(\chi/Q)^D$	$(\chi/Q)^{DD}$	D/Q
				(sec/m ³)	(sec/m ³)	(sec/m ³)	(1/m ²)
NNE	0.8	최대피폭 지점	원자로실 굴뚝	7.85E-06	7.80E-06	7.16E-06	9.64E-09
			RCI 굴뚝	8.01E-06	7.96E-06	7.30E-06	9.66E-09
			RIPF-IMEF 굴뚝	7.79E-06	7.74E-06	7.10E-06	9.56E-09
			보조굴뚝	1.31E-05	1.29E-05	1.19E-05	1.30E-08
NE	1.2	송강동	원자로실 굴뚝	3.75E-06	3.73E-06	3.59E-06	8.32E-09
			RCI 굴뚝	4.66E-06	4.63E-06	4.25E-06	1.14E-08
			RIPF-IMEF 굴뚝	3.33E-06	3.32E-06	3.25E-06	6.26E-09
			보조굴뚝	1.02E-05	1.00E-05	9.03E-06	9.15E-09
ESE	1.3	테크노밸 리	원자로실 굴뚝	7.55E-08	7.53E-08	7.46E-08	6.17E-10
			RCI 굴뚝	1.04E-07	1.04E-07	1.03E-07	6.33E-10
			RIPF-IMEF 굴뚝	6.48E-08	6.46E-08	6.40E-08	5.87E-10
			보조굴뚝	1.42E-05	1.40E-05	1.26E-05	6.29E-09
ENE	6	신탄진	원자로실 굴뚝	1.48E-07	1.44E-07	1.44E-07	1.66E-10
			RCI 굴뚝	1.68E-07	1.63E-07	1.63E-07	1.68E-10
			RIPF-IMEF 굴뚝	1.39E-07	1.36E-07	1.36E-07	1.66E-10
			보조굴뚝	1.23E-06	1.15E-06	9.36E-07	5.33E-10
WSW	8	유성관광 단지	원자로실 굴뚝	2.84E-07	2.67E-07	2.32E-07	2.17E-10
			RCI 굴뚝	2.91E-07	2.74E-07	2.16E-07	2.19E-10
			RIPF-IMEF 굴뚝	2.79E-07	2.63E-07	2.42E-07	2.14E-10
			보조굴뚝	3.45E-07	3.15E-07	2.51E-07	2.10E-10
SSE	13	대전시중 심가	원자로실 굴뚝	4.83E-08	4.62E-08	4.59E-08	6.61E-11
			RCI 굴뚝	5.14E-08	4.91E-08	4.87E-08	6.69E-11
			RIPF-IMEF 굴뚝	4.69E-08	4.49E-08	4.47E-08	6.51E-11
			보조굴뚝	5.08E-07	4.31E-07	3.38E-07	1.37E-10

(주1) “최대 피폭지점”은 시설과 부지 최대피폭지점을 나타냄

(주2) χ/Q : 방사능붕괴 및 침적을 고려하지 않은 대기확산인자

$(\chi/Q)^D$: 방사능붕괴만을 고려한 대기확산인자

$(\chi/Q)^{DD}$: 방사능붕괴 및 침적을 고려한 대기확산인자

D/Q : 침적인자

표 4-4. <계속> (한국원자력연구원 운영 기타 원자력관련시설)

방위	거리 (km)	지역	시설명	χ/Q	$(\chi/Q)^D$	$(\chi/Q)^{DD}$	D/Q
				(sec/m ³)	(sec/m ³)	(sec/m ³)	(1/m ²)
NE	0.8	시설최대 피폭지점	조사후시험시설	1.50E-05	1.49E-05	1.37E-05	1.95E-08
			연구로용연료가공시설	1.50E-05	1.49E-05	1.36E-05	1.95E-08
SSE	0.8	시설최대 피폭지점	방사성폐기물처리시설	3.54E-05	3.51E-05	3.22E-05	1.68E-08
			고화폐기물시험시설	3.54E-05	3.51E-05	3.22E-05	1.68E-08
			자연증발시설	3.54E-05	3.51E-05	3.22E-05	1.68E-08
			가연성폐기물처리시설	3.54E-05	3.51E-05	3.22E-05	1.68E-08
NNE	0.8	부지최대 피폭지점	조사후시험시설	1.07E-05	1.07E-05	9.78E-06	8.80E-09
			연구로용연료가공시설	1.06E-05	1.05E-05	9.69E-06	8.77E-09
			방사성폐기물처리시설	1.40E-05	6.89E-06	1.27E-05	6.62E-09
			고화폐기물시험시설	1.40E-05	6.89E-06	1.27E-05	6.62E-09
			자연증발시설	1.40E-05	6.89E-06	1.27E-05	6.62E-09
NE	1.2	송강동	가연성폐기물처리시설	1.40E-05	6.89E-06	1.27E-05	6.62E-09
			조사후시험시설	7.43E-06	7.36E-06	6.61E-06	1.01E-08
			연구로용연료가공시설	7.41E-06	7.34E-06	6.59E-06	1.01E-08
			방사성폐기물처리시설	1.07E-05	1.06E-05	9.53E-06	9.15E-09
			고화폐기물시험시설	1.07E-05	1.06E-05	9.53E-06	9.15E-09
			자연증발시설	1.07E-05	1.06E-05	9.53E-06	9.15E-09
ESE	1.3	테크노밸리	가연성폐기물처리시설	1.07E-05	1.06E-05	9.53E-06	9.15E-09
			조사후시험시설	5.59E-07	5.55E-07	5.52E-07	9.70E-10
			연구로용연료가공시설	5.49E-07	5.45E-07	5.43E-07	9.70E-10
			방사성폐기물처리시설	1.52E-05	1.49E-05	1.34E-05	6.29E-09
			고화폐기물시험시설	1.52E-05	1.49E-05	1.34E-05	6.29E-09
			자연증발시설	1.52E-05	1.49E-05	1.34E-05	6.29E-09
			가연성폐기물처리시설	1.52E-05	1.49E-05	1.34E-05	6.29E-09

표 4-4. <계속> (한국원자력연구원 운영 기타 원자력관련시설)

방위	거리 (km)	지 역	시설명	χ/Q	$(\chi/Q)^D$	$(\chi/Q)^{DD}$	D/Q
				(sec/m ³)	(sec/m ³)	(sec/m ³)	(1/m ²)
ENE	6	신탄진	조사후시험시설	4.71E-07	4.53E-07	4.60E-07	2.48E-10
			연구로용연료가공시설	3.37E-07	3.09E-07	2.46E-07	1.85E-10
			방사성폐기물처리시설	1.25E-06	1.17E-06	9.49E-07	5.33E-10
			고화폐기물시험시설	1.25E-06	1.17E-06	9.49E-07	5.33E-10
			자연증발시설	1.25E-06	1.17E-06	9.49E-07	5.33E-10
			가연성폐기물처리시설	1.25E-06	1.17E-06	9.49E-07	5.33E-10
WSW	8	유성관광 단지	조사후시험시설	3.37E-07	3.10E-07	2.46E-07	1.85E-10
			연구로용연료가공시설	4.72E-07	4.55E-07	4.62E-07	2.48E-10
			방사성폐기물처리시설	3.49E-07	3.18E-07	2.53E-07	2.10E-10
			고화폐기물시험시설	3.49E-07	3.18E-07	2.53E-07	2.10E-10
			자연증발시설	3.49E-07	3.18E-07	2.53E-07	2.10E-10
			가연성폐기물처리시설	3.49E-07	3.18E-07	2.53E-07	2.10E-10
SSE	13	대전시 중심가	조사후시험시설	1.22E-07	1.12E-07	1.17E-07	6.83E-11
			연구로용연료가공시설	1.22E-07	1.12E-07	1.17E-07	6.82E-11
			방사성폐기물처리시설	5.13E-07	4.35E-07	3.41E-07	1.37E-10
			고화폐기물시험시설	5.13E-07	4.35E-07	3.41E-07	1.37E-10
			자연증발시설	5.13E-07	4.35E-07	3.41E-07	1.37E-10
			가연성폐기물처리시설	5.13E-07	4.35E-07	3.41E-07	1.37E-10

(주) “부지 최대피폭지점”은 하나로 운영에 따른 최대 피폭지점과 동일

표 4-4. <계속> (한전원자력연료 운영시설)

방 위	거 리 (km)	지 역	배출원	x/Q	$(x/Q)^D$	$(x/Q)^{DD}$	D/Q
				(sec/m ³)	(sec/m ³)	(sec/m ³)	(1/m ²)
NE	0.8	시설최대 피폭지점	핵연료1동	1.35E-05	1.34E-05	1.23E-05	1.90E-08
			핵연료2동	2.06E-05	2.04E-05	1.88E-05	1.68E-08
SSE	0.8		열분해시설	3.24E-05	3.21E-05	2.95E-05	1.68E-08
NNE	0.8	부지최대 피폭지점	핵연료1동	1.05E-05	1.04E-05	9.55E-06	8.64E-09
			핵연료2동	1.35E-05	1.34E-05	1.24E-05	1.27E-08
			열분해시설	1.32E-05	1.31E-05	1.20E-05	1.29E-08
NE	1.2	송강동	핵연료1동	6.97E-06	6.91E-06	6.22E-06	9.92E-09
			핵연료2동	1.03E-05	1.02E-05	9.16E-06	8.76E-09
			열분해시설	1.03E-05	1.02E-05	9.15E-06	9.15E-09
ESE	1.3	테크노밸리	핵연료1동	2.53E-07	2.52E-07	2.51E-07	6.60E-10
			핵연료2동	2.51E-06	2.48E-06	2.49E-06	7.93E-10
			열분해시설	1.44E-05	1.42E-05	1.28E-05	6.29E-09
ENE	6	신탄진	핵연료1동	3.64E-07	3.52E-07	3.57E-07	2.04E-10
			핵연료2동	8.73E-07	8.17E-07	8.48E-07	1.90E-10
			열분해시설	1.24E-06	1.15E-06	9.39E-07	5.33E-10
WSW	8	유성관광 단지	핵연료1동	3.34E-07	3.07E-07	2.45E-07	1.82E-10
			핵연료2동	3.42E-07	3.13E-07	2.54E-07	2.08E-10
			열분해시설	3.46E-07	3.16E-07	2.52E-07	2.10E-10
SSE	13	대전시 중심가	핵연료1동	1.02E-07	9.44E-08	9.79E-08	5.66E-11
			핵연료2동	3.37E-07	2.87E-07	3.17E-07	5.50E-11
			열분해시설	5.10E-07	4.32E-07	3.39E-07	1.37E-10

(주) “부지 최대피폭지점”은 하나로 운영에 따른 최대 피폭지점과 동일

표 4-4. <계속> (한국원자력환경공단 운영시설)

방 위	거 리 (km)	지 역	χ/Q	$(\chi/Q)^D$	$(\chi/Q)^{DD}$	D/Q
			(sec/m ³)	(sec/m ³)	(sec/m ³)	(1/m ²)
SSE	0.8	시설최대 피폭지점	3.67E-05	3.63E-05	3.34E-05	1.68E-08
NNE	0.8	부지최대 피폭지점	1.43E-05	1.42E-05	1.30E-05	1.29E-08
NE	1.2	송강동	1.09E-05	1.08E-05	9.68E-06	9.15E-09
ESE	1.3	관평동	1.55E-05	1.52E-05	1.37E-05	6.29E-09
ENE	6	신탄진	1.26E-06	1.17E-06	9.53E-07	5.33E-10
WSW	8	유성관광단지	3.49E-07	3.19E-07	2.54E-07	2.10E-10
SSE	13	대전시중심가	5.14E-07	4.36E-07	3.42E-07	1.37E-10

(주) “부지 최대피폭지점”은 하나로 운영에 따른 최대 피폭지점과 동일

표 4-5. 최대 피폭지점의 대기확산인자 및 침적인자의 연도별 변화

시설명		인자	2014	2015	2016
하 나 로	원자로실 굴뚝	대기확산인자	8.23E-06	8.024E-06	7.85E-06
		침적인자	9.35E-09	9.34E-09	9.64E-09
	RCI 굴뚝	대기확산인자	8.41E-06	8.17E-06	8.01E-06
		침적인자	9.37E-09	9.36E-09	9.66E-09
	RIPF-IMEF 굴뚝	대기확산인자	8.17E-06	7.97E-06	7.79E-06
		침적인자	9.27E-09	9.28E-09	9.56E-09
	보조굴뚝	대기확산인자	1.10E-05	1.13E-05	1.31E-05
		침적인자	1.15E-08	1.14E-08	1.30E-08
	조사후시험시설	대기확산인자	1.84E-05	1.83E-05	1.50E-05
		침적인자	2.11E-08	2.13E-08	1.95E-08
연구로용연료가공시설	대기확산인자	1.83E-05	1.70E-05	1.50E-05	
	침적인자	2.11E-08	2.01E-08	1.95E-08	
방사성폐기물처리시설	대기확산인자	3.88E-05	3.77E-05	3.54E-05	
	침적인자	1.48E-08	1.49E-08	1.68E-08	
자연증발시설	대기확산인자	3.88E-05	3.77E-05	3.54E-05	
	침적인자	1.48E-08	1.49E-08	1.68E-08	
고화폐기물시험시설	대기확산인자	3.88E-05	3.77E-05	3.54E-05	
	침적인자	1.48E-08	1.49E-08	1.68E-08	
가연성폐기물처리시설	대기확산인자	3.88E-05	3.77E-05	3.54E-05	
	침적인자	1.48E-08	1.49E-08	1.68E-08	
핵연료1동	대기확산인자	1.64E-05	1.52E-05	1.35E-05	
	침적인자	2.05E-08	1.97E-08	1.90E-08	
핵연료2동	대기확산인자	2.04E-05	2.01E-05	2.06E-05	
	침적인자	1.60E-08	1.60E-08	1.68E-08	
열분해시설	대기확산인자	3.50E-05	3.40E-05	3.24E-05	
	침적인자	1.81E-08	1.48E-08	1.68E-08	
RI 폐기물관리시설	대기확산인자	4.05E-05	3.93E-05	3.67E-05	
	침적인자	1.48E-08	1.48E-08	1.68E-08	

(주) 대기확산인자는 방사능붕괴 및 침적을 고려하지 않은 값으로 단위는 sec/m^3 , 침적인자의 단위는 $1/\text{m}^2$ 임

라. 주민선량 평가결과

대덕 원자력시설의 건전한 관리 및 운영을 확인하기 위해 주변 주민에 대한 피폭선량을 평가하였다. [표 4-6]에 나타낸 바와 같이 각 원자력시설은 설계기준치(또는 배출기준치) 이하로 운영/관리되었음을 확인하였다. 대덕 부지에 위치한 모든 원자력시설의 운영으로 받게 되는 최대 피폭연령군(소아)에 대한 최대 피폭선량을 [표 4-7]에 나타냈으며, 부지당 기준치와 비교하여 유효선량의 경우 0.13%, 갑상선 등가선량의 경우 0.1%로 평가되었다. 이는 일반인에 대한 선량한도인 1 mSv/yr의 0.03% 정도에 불과하였다. 기체상 배출물로부터 소아의 유효선량에 대한 경로별 기여는 음식물 섭취에 의한 내부피폭이 61%, 호흡에 의한 내부피폭이 39%, 플룸에 의한 외부피폭과 지표침적에 의한 피폭영향은 상대적으로 무시 가능한 수준이었다. 액체상 배출물로부터 유효선량에 대한 기여는 관개로 인한 오염 농작물 섭취에 의한 영향이 56%, 수생식품에 의한 영향은 41%, 음용수는 약 4% 정도로 나타났으며, 침적물 및 수영 등에 의한 외부피폭 영향은 상대적으로 무시 가능하였다.

기체상 및 액체상 배출물로부터 최근 3년간 부지 최대피폭 개인에 대한 유효선량의 변화를 각각 [그림 4-1]과 [그림 4-2]에 나타냈다.

The logo for KAERI (Korea Atomic Energy Research Institute) is centered on the page. It features a stylized atomic symbol with three elliptical orbits and three small spheres representing electrons. Below the symbol, the word "KAERI" is written in a bold, sans-serif font.

표 4-6. 원자력시설당 설계기준치와의 비교 (mGy/yr 또는 mSv/yr)

항 목	연간 기준치*	한국원자력연구원 운영시설								
		하나로		조사후시험시설		방사성 폐기물 처리시설		자연증발시설		
		실적치	%	실적치	%	실적치	%	실적치	%	
기 체	공기 중 감마 흡수선량	0.1	1.45E-07	1.45E-04	1.59E-08	1.59E-05	0	0	0	0
	공기 중 베타 흡수선량	0.2	1.65E-05	8.25E-03	1.80E-06	9.00E-04	0	0	0	0
	유효 선량**	0.05	1.65E-07	3.30E-04	1.81E-08	3.62E-05	0	0	0	0
	피부** 등가선량	0.15	9.10E-06	6.07E-03	9.94E-07	6.63E-04	0	0	0	0
	장기*** 등가선량	0.15	7.49E-04	4.99E-01	1.02E-08	6.80E-06	1.39E-07	9.27E-05	0	0
액 체	유효 선량	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-
	장기 등가선량	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-

*기준치는 시설당 기준치임

**불활성기체에 의한 외부피폭선량

***입자상 배출물에 의한 최대 피폭장기에 대한 등가선량

“-”는 해당없음을 나타냄

표 4-6. <계속>

항 목		연간 기준치*	한국원자력연구원 운영시설					
			연구로용 연료 가공시설		고화폐기물 시험시설		가연성폐기물 처리시설	
			실적치	%	실적치	%	실적치	%
기 체	공기 중 감마 흡수선량	0.1	0	0	0	0	0	0
	공기 중 베타 흡수선량	0.2	0	0	0	0	0	0
	유효 선량**	0.05	0	0	0	0	0	0
	피부** 등가선량	0.15	0	0	0	0	0	0
	장기*** 등가선량	0.15	1.70E-07	1.13E-04	0	0	0	0
액 체	유효 선량	0.03	-	-	-	-	-	-
	장기 등가선량	0.1	-	-	-	-	-	-

*기준치는 시설당 기준치임

**불활성기체에 의한 외부피폭선량

***입자상 배출물에 의한 최대 피폭장기에 대한 등가선량

“-”는 해당없음을 나타냄

표 4-6. <계속>

항 목		연간 기준치*	한전원자력연료 운영시설					
			핵연료1동		핵연료2동		열분해시설	
			실적치	%	실적치	%	실적치	%
기 체	공기 중 감마 흡수선량	0.1	0	0	0	0	0	0
	공기 중 베타 흡수선량	0.2	0	0	0	0	0	0
	유효 선량**	0.05	0	0	0	0	0	0
	피부** 등가선량	0.15	0	0	0	0	0	0
	장기*** 등가선량	0.15	7.71E-05	5.14E-02	2.16E-05	1.44E-02	8.46E-08	5.64E-05
액 체	유효 선량	0.03	3.77E-07	1.26E-03	1.03E-06	3.43E-03	-	-
	장기 등가선량	0.1	6.93E-06	6.93E-03	2.75E-05	2.75E-02	-	-

*기준치는 시설당 기준치임

**불활성기체에 의한 외부피폭선량

***입자상 배출물에 의한 최대 피폭장기에 대한 등가선량

“-”는 해당없음을 나타냄

표 4-6. <계속>

항 목		연간기준치*	한국원자력환경공단	
			RI 폐기물 관리시설	
			실적치	%
기 체	공기 중 감마 흡수선량	0.1	0	0
	공기 중 베타 흡수선량	0.2	0	0
	유효선량**	0.05	0	0
	피부등가선량**	0.15	0	0
	장기등가선량***	0.15	1.61E-08	1.07E-05
액 체	유효선량	0.03	-	-
	장기등가선량	0.1	-	-

*기준치는 시설당 기준치임

**불활성기체에 의한 외부피폭선량

***입자상 배출물에 의한 최대 피폭장기에 대한 등가선량

“-”는 해당없음을 나타냄

표 4-7. 부지 당 기준치와의 비교

피폭장기	기준치	피폭선량		기준치 대비 (%)
		기체	액체	
유 효	0.25	기체	3.20E-04	0.13
		액체	1.30E-06	
		합계	3.20E-04	
갑상선	0.75	기체	7.50E-04	0.1
		액체	4.25E-07	
		합계	7.50E-04	

부지로부터 반경 80 km 내 주민에 대한 집단선량은 자연방사선으로부터 받게 되는 피폭선량과 비교하였다. 자연방사능으로부터 받게 되는 집단선량은 자연방사능으로부터 받게 되는 개인선량에 부지로부터 반경 80 km 내 인구수 (약 7,151,000명)를 곱하여 추산하였다. 계산결과 대덕 원자력시설의 운영으로 받게 되는 집단에 대한 유효선량은 [표 4-8]에 나타낸 바와 같이 자연방사능으로부터 받게 되는 선량의 $3.60 \times 10^{-5}\%$ 정도로 평가되었다. 따라서 대덕 원자력 관련시설의 2016년도 운영으로 주변 주민이 받게 되는 방사선에 의한 영향은 거의 없는 것으로 판단된다.

표 4-8. 집단선량 결과의 비교

1. 1인당 연간 평균 자연 방사선에 의한 피폭선량 (Sv/yr)	2.40E-03	
2. 자연방사선에 의한 연간 집단선량 (man-Sv/yr)	1.72E+04	
3. 대덕 원자력시설의 운영에 의한 집단선량 (man-Sv/yr)	기체상 배출물	4.90E-03
	액체상 배출물	1.29E-03
	합계	6.19E-03
4. 자연방사선에 의한 집단선량 대비 (%)	3.60E-05	

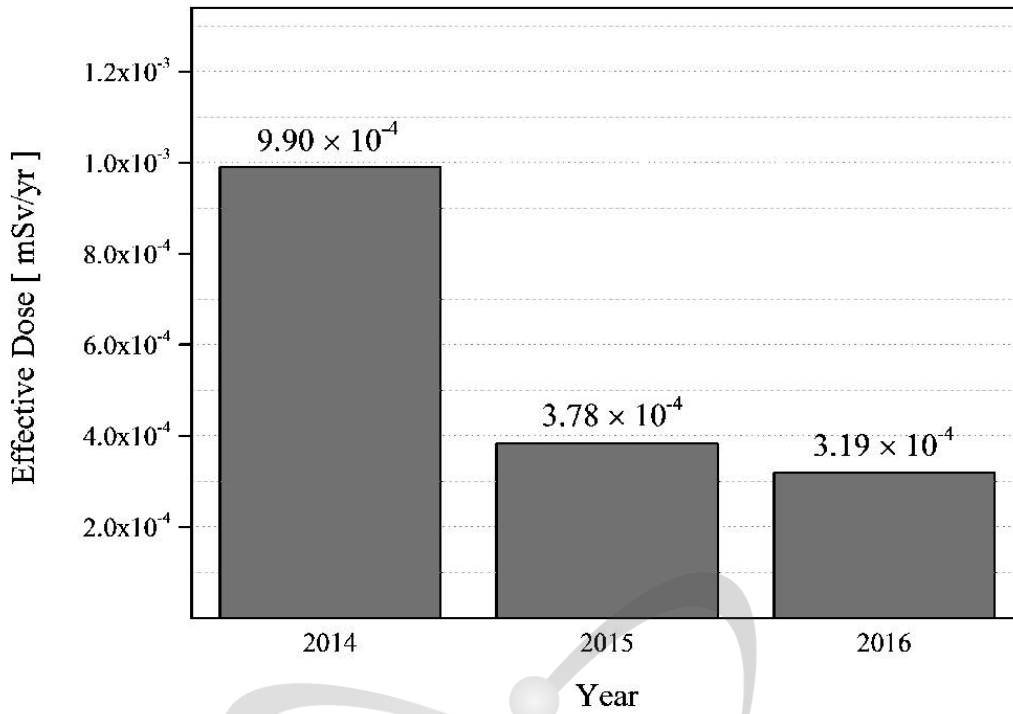


그림 4-1. 최근 3년간 기체상 배출물에 의한 부지 최대 피폭연령군의 유효선량

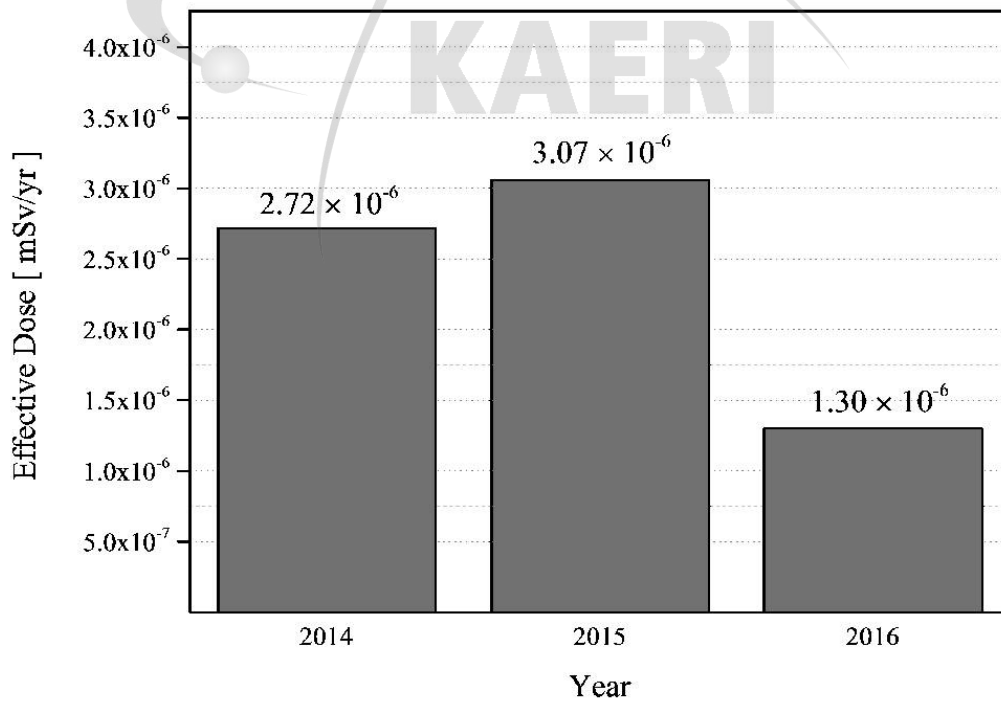


그림 4-2. 최근 3년간 액체상 배출물에 의한 부지 최대 피폭연령군의 유효선량



제3장

결 론

제1절 대덕원자력이용시설 주변

제2절 서울 연구용원자로시설 주변

제3절 주민선량평가

제4절 결 론

KAERI



제1절 대덕원자력이용시설 주변

대덕 원자력이용시설 주변에 대한 환경방사선 감시 결과는 예년의 자료와 비교해 보았을 때 전반적으로 이상 변동은 보이지 않는 것으로 나타났다.

공간감마선량률은 2015년도와 거의 유사한 수준을 나타내었으며, 환경방사능 조사 대상 시료에 대한 전베타 방사능 분석결과를 살펴보면, 낙진, 지표수의 경우는 조사 지점, 조사 시기에 따른 특이한 경향성은 없고 비교적 일정한 분석 결과값을 나타내고 있다. 공기 중 미립자와 빗물의 전베타 방사능은 동절기가 하절기보다는 다소 높은 경향을 나타내었으며, 빗물의 전베타 방사능 일부가 일시증가 보고되었다. 조사 대상 시료에 대한 삼중수소 분석결과를 살펴보면 공기 중 수분의 경우는 평상시 변동범위 내였다. 감마동위원소 분석결과를 살펴보면 슬유티, 농산물 및 축산물 시료에서는 자연 방사성핵종인 ^{40}K 또는 ^7Be 이 전년도 준위로 나타났으며 그 외의 인공 방사성핵종 모두는 MDA 이하였다. 표층토양에서는 ^{137}Cs 이 일부 검출되었으며 검출된 ^{137}Cs 의 방사능 준위는 1960 ~ 1970년대에 실시된 대기권 핵실험에 의한 전 지구적인 오염에 의한 수준의 것으로 판단된다. 지하수에서는 모든 핵종이 MDA 이하였고 지표수에서는 인공 방사성핵종 모두 MDA 이하였다.

앞에서 살펴본 것처럼 2016년도 대덕 원자력시설 주변에 대한 환경감시 결과를 종합하여 볼 때 대덕 원자력이용시설의 운영으로 인한 주변 환경의 변화는 없는 것으로 판단된다.

제2절 서울 연구용원자로시설 주변

TRIGA 연구용원자로시설 부지내 및 주변지역에 대한 공간감마선량률 조사결과는 예년과 비슷한 준위를 보이고 있다. 1호기(MW) 건물 주변의 공간감마선량률이 안정한 준위로 측정되었고, 특이한 변동 사항은 발견되지 않았다.

조사 대상 시료에 대한 방사능 분석결과를 살펴보면, 공기 중 미립자의 전베타 방사능 분석치는 상반기와 하반기의 평균치가 유사하게 나타났으며, 습한 하절기 보다 건조한 동절기가 다소 높게 검출되었다. 공기 중 미립자에 대한 감마동위원소의 분석 결과를 살펴보면, 자연 방사성핵종인 ^7Be 이 검출되었고, 그 외 조사 대상핵종은 모두 MDA 이하의 값이었다. 그리고 지하수 시료에서도 조사 대상 핵종 모두가 MDA 이하로 나타났다. 표층토양 시료에서는 자연 방사성핵종인 ^{40}K 또는 ^7Be 과 함께 ^{137}Cs 이 일부 검출되었으나 평상시변동범위 이내였다. 지표수 시료에서는 비교지점인 광운대학교 지점에서 ^{131}I 가 미량 검출되었으나 평상시변동범위

이내였으며, 이는 방사성옥소 투여환자에 기인하는 것으로 판단된다.

본 조사 기간 동안의 환경방사선/능 조사 자료를 검토·분석한 결과 TRIGA 연구용원자로시설로 인한 부지주변 환경에 대한 영향은 발견되지 않았다.

제3절 주민선량평가

원자력이용시설 운영으로 주변 주민에 대한 최대 유효선량은 0.000320 mSv/yr로 평가되었으며, 이는 일반인에 대한 법적선량한도 (1 mSv/yr) 및 부지 기준치 (0.25 mSv/yr) 보다 훨씬 낮은 값으로 주변 주민의 방사선에 의한 영향 거의 없는 것으로 판단된다.

제4절 결 론

원자력이용시설의 운영으로 인한 주변 환경변화 여부와 예기치 않은 방사성 물질의 배출에 의한 주변 환경변화의 영향을 판단할 수 있는 기초 자료의 확보와 평가능력 제고를 위한 본 조사 자료를 살펴본 결과, 대덕 및 서울 원자력이용시설 부지 주변의 방사선/방사능 환경변화는 없는 것으로 판단된다. 그리고 원자력이용시설 주변지역에 대한 환경방사선 감시는 신속하고 지속적으로 이루어져서 원자력시설에 대한 환경안정성 확보는 물론 원자력에 대한 올바른 이해와 불안감 해소 및 주변지역 주민의 보건과 대국민홍보에도 기여할 것으로 기대된다.

The logo for KAERI (Korea Atomic Energy Research Institute) is centered on the page. It features a stylized graphic of a sphere with a curved line passing through it, resembling a particle or a path. Below this graphic, the word "KAERI" is written in a bold, sans-serif font.

제4장

참고문헌





1. 원자력시설주변 환경방사선평가(2011년보), 한국원자력연구원, KAERI/RR-3266/2011
2. Huthrie, J. E. and W. E. Grummit : Manual for low Activity Environmental Analysis AECL-1745,(1963)
3. Volchok H. L. and G. de Planque, Ed. : EML Procedures Manual, HASL-300(1982) (1982), U. S. DOE.
4. Beck, H. L. et al.: New Perspectives on Environmental Radiation Monitoring around Nuclear Facilities. Trans. Amer. Nucl. Soci., 14(2), 464(1971).
5. NCRP : Environmental Radiation Measurements (1976), NCRP Report No. 50.
6. Watt D. E. and D. Ramsden : High Sensitivity Counting Techniques. Pergamon Press (1964).
7. Becker, K.: Environmental Monitoring with TLD. Nucl. Instr. Neth., 104, 405 (1972).
8. Decampo, J. A., et al. : High Pressure Argon Ionization Chamber Systems for the Measurement of Environmental Radiation Exposure Rates HASL-260 (1970).
9. Reuter Stokes : Manual of Environmental Radiation monitor, RSS-111AC, Reuter Stokes
10. Burgess P. H. and D. F. White : A Comparison of Collimated and Free Air Radiation Source in the Calibration of Radiation Protection Instruments, Rad. Prot. Dosimetry, 2, 33-38, (1982).
11. IAEA : Handbook on Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments, Tech. Report, No.133,(1971), IAEA.
12. Lederer, C.M. et. al. : Table of Isotopes,(6th Ed.), John Wiley and Son (1976).
13. IAEA : Methods of low-level Counting and Spectrometry, Proceeding Series, IAEA Vienna, (1981).
14. Burke G.P.: Variation in Natural Environmental Gamma Radiation and its Effects on the Interpretability of TLD Measurements made near Nuclear Facilities, HASL-289 (1975).
15. AMANO. H and A. KASAI : Concentration of ^7Be in the lower Atmosphere and Fall out Rate in TOKAI,J. Hoken Butsuri, 16, 99(1981).
16. 이현덕등, 환경방사선능조사, Vol. 16,(1984) KAERI/MR-83/84, 과학기술처
17. 이현덕등, 환경방사선능조사, Vol. 17,(1985) KAERI/MR-101/85, 과학기술처
18. 핵연료 가공시설 가동중 환경감시 보고서, 한국핵연료주식회사(1992)
19. 알파 방사능 분석법, 방사능 분석 시리즈 1, 소화 51년, 일본 과학기술청
20. 우라늄 분석법, 방사능 분석 시리즈 14, 소화 57년, 일본 과학기술청
21. 가동중 원자력 발전 주변 환경방사선/능 조사 보고서, KAERI/NSC-34/89, 한국원자력연구소 부설 원자력 안전센터(1989)
22. IAEA : Intercomparison Procedures in the Dosimetry of Protect Radiation(1978), IAEA Tech. Report 182
23. Burke,G.and De Planques, G. "Thermoluminescent Dosimetry : Environmental Monitoring near Nuclear Reactor Site ",IEEE Trans Nucl. Scien., NS-23(3), 1224-1226, (1976)

24. Harley, J. H. Ed "EML Procedures Manual", HASL-300(1972,ed)
25. Jagielak, J. et al "Problems in Calculating Instruments for Environmental Gamma Exposure Dose Measurements, IAEA-SM-180/21, (1973) IAEA
26. Pensko, J. "Natural Gamma Background Radiation in the Environments of Nuclear Facilities ", IAEA-SM-180/23 (1973) IAEA
27. 환경감시법의 표준화연구, KAERI/RR-423/83
28. 한국방토양중 감마핵종의 분포에 관한 연구, KINS/AR-173, 한국원자력안전기술원
29. 방사성핵종 표준분석법, KINS/G-009, 한국원자력안전기술원.
30. 이창우 등, 연구용원자로주변 환경방사선조사, KAERI/RR-1451/94, 한국원자력연구소, 1995
31. Panofsky, H. A. and G. W. Brier(1958). Some Applications of Statistics to Meteorology, The Pennsylvania State Univ., Pennsylvania 23.
32. Huschke, R. E.(Ed. 1970). Glossary of Meteorology, American Meteorological Society, Boston, 227.
33. American Nuclear Society(1984). American National Standard for Determining Meteorological Information at Nuclear Power Sites, ANSI/ANS-2.5-1984.
34. J. B. Paces, K. R. Ludwig, Z. E. Peterman and L. A. Neymark, 234U/238U evidence for local recharge and pattern of groundwater flow in the vicinity of Yucca Mountain, Nevada, USA, Applied Geom., 17, 751-779 (2002).
35. M. H. Lee, G. K. Choi, Y. H. Cho, Y. H. Choi, C. W. Lee, "Concentration and activity ratios of radionuclides around the nuclear facilities in Korea", J. Radioanal. Nucl. Chem. 249, 215 (2001)
36. 이명호, 최근식, 조영현, 이창우, 정성태, "환경시료에 존재하는 우라늄 동위원소 분석법에 대한 연구", 대한방사선방어학회지 24(1), 1-7 (1999)
37. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, ISO (1993)
38. 측정 불확도 표현 지침 (KRIS-98-096-SP), 한국표준과학연구원 (1998)
39. E P A : Environmental Surveillance Guide (1972), U.S. E P A
40. Pelletier, C. A. : "Environmental Surveillance in the Vicinity Thomas Publisher, Springfield(1970)
41. 이현덕 등 : 원자력시설주변에 대한 환경방사능 및 방사선량 측정조사, KAERI/RR-228/80, (1981), 한국원자력 연구소
42. 원자력안전위원회 : 원자력이용시설주변의 방사선환경조사 및 방사선환경영향평가에 관한 고시. 원자력 안전위원회 고시 제2014-12호(원자력이용시설 주변의 방사선환경조사 및 방사선환경영향평가) (2014).
43. ICRU : Measurement of low level Radioactivity, ICRU Report No.22



부 록

[부록 1] 공간 감마선량률 및 환경방사능 농도 자료

[부록 2] 환경방사선/능 일시증가 보고 자료



KAERI



[부록 1] 공간 감마선량률 및 환경방사능 농도 자료

공간 감마선량률 및 환경방사능 농도 자료



부록 표 1. 대덕 원자력시설 주변 공간감마선량률 (환경방사선감시기)

(단위: nGy/h)

조사 지점		2016년												평상시변동범위 (최소 ~ 최대)	
		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월		연평균
부 지 내	골프장북쪽	104±2	103±3	103±2	104±4	105±3	108±4	104±3	108±4	106±2	104±2	104±2	105±3	105	106 (102 ~ 113)
	본관동쪽	107±3	106±4	107±3	110±6	109±5	112±5	109±6	111±7	109±3	108±3	108±3	108±3	108	108 (98.1 ~ 113)
	기상탑	92.9±2.7	92.9±3.5	92.9±3.2	94.6±5.3	94.6±4.8	96.4±4.7	94.6±5.9	96.4±5.8	94.6±2.8	93.7±2.8	93.7±2.8	93.7±3.1	94.2	91.4 (85.0 ~ 97.2)
	독신료	117±3	117±4	117±3	118±4	118±4	121±4	118±4	121±5	119±2	117±2	118±2	117±3	118	119 (114 ~ 124)
	제3연구동	99.9±2.8	101±4	101±3	102±5	103±4	108±4	104±5	108±5	105±3	102±2	102±3	102±3	103	99.8 (92.0 ~ 109)
	하나로서쪽	139±3	144±6	138±3	139±5	140±5	147±6	143±5	146±6	142±3	140±3	141±3	141±3	142	149 (128 ~ 157)
평균		110	111	110	111	112	115	112	115	113	111	111	111	112	
비교 지점	연산 주말농장	102±2	102±4	102±3	103±5	103±5	107±6	104±5	109±4	105±3	102±3	102±3	102±3	104	104 (98.1 ~ 110)

부록 표 2. 대덕 원자력시설 주변 집적선량 (열형광선량계)

(단위: $\mu\text{Gy}/\text{분기}$)

조사 지점	2016년					정상시변동범위 (최소 ~ 최대)
	1/4분기	2/4분기	3/4분기	4/4분기	연평균	
핵연료기공동	166±5	165±5	173±4	176±2	170	186 (161 ~ 219)
조사후시험동	204±4	219±9	206±8	226±10	214	235 (197 ~ 293)
폐기물운영동	177±10	190±3	192±8	194±3	188	198 (172 ~ 225)
정련시설동	197±7	212±2	204±9	217±11	208	218 (192 ~ 239)
식당앞	156±3	165±7	171±8	177±6	167	182 (150 ~ 213)
정문앞	162±5	179±11	169±5	180±7	172	185 (171 ~ 217)
환경기술원앞	171±10	177±6	177±6	189±10	178	196 (166 ~ 234)
제 5연구동	172±4	174±9	178±5	184±6	177	201 (171 ~ 217)
기상탑	124±6	127±4	136±14	133±13	130	143 (124 ~ 166)
수송용기실험동	155±3	165±3	157±7	173±10	163	180 (152 ~ 211)
액폐 증발시설	298±7	287±12	310±18	304±16	300	308 (220 ~ 383)
고체폐기물창고	330±8	335±11	321±7	340±12	331	316 (186 ~ 362)
KNFC본관뒤 1	222±7	231±8	211±7	211±7	219	250 (211 ~ 304)
KNFC본관뒤 2	175±6	176±8	181±4	199±6	183	199 (166 ~ 235)
골프장북쪽	167±8	164±9	163±4	169±6	166	180 (148 ~ 211)
골프장뒤	140±4	150±4	152±6	159±6	150	165 (143 ~ 183)
골프장옆	160±12	176±34	162±12	184±17	170	179 (151 ~ 200)
집수포	179±9	195±7	189±10	194±8	189	205 (175 ~ 246)
본관동동쪽	163±3	178±9	171±16	181±10	173	183 (153 ~ 232)
정문테니스장옆	162±5	172±6	*	420±21	251	180 (167 ~ 213)
하나로21	180±6	190±8	189±6	195±9	188	206 (184 ~ 225)
하나로22	184±4	192±10	186±9	202±7	191	199 (175 ~ 227)
하나로23	215±7	213±4	216±9	237±12	220	237 (210 ~ 268)
하나로24	217±10	220±9	221±13	240±8	225	238 (215 ~ 262)
하나로25	208±6	222±3	214±6	242±8	222	231 (204 ~ 265)
하나로26	191±4	194±4	194±7	203±7	196	206 (173 ~ 235)
하나로27	241±5	246±7	235±6	255±3	244	251 (194 ~ 292)
하나로28	193±3	204±7	210±2	221±6	207	218 (187 ~ 253)
하나로29	399±13	420±12	386±15	415±13	405	383 (337 ~ 461)
하나로30	350±3	350±12	333±11	365±13	349	407 (302 ~ 509)
하나로31	224±19	223±13	231±23	248±20	232	250 (225 ~ 276)
하나로32	207±6	216±7	207±9	223±9	213	235 (196 ~ 287)
하나로33	193±5	207±5	195±11	208±4	201	245 (184 ~ 354)
독신료	126±2	135±6	135±0	144±3	135	156 (134 ~ 185)
가연물처리동북쪽	187±6	195±7	199±15	229±11	202	203 (171 ~ 252)
가연물처리동서쪽	379±8	723±14	1,600±30	1,350±30	1012	440 (403 ~ 481)
가연물처리동남쪽	204±4	294±8	464±13	365±6	332	227 (202 ~ 260)
평균	205	224	251	258	209	

부
지
내

부록 표 2. <계속>

(단위: $\mu\text{Gy}/\text{분기}$)

조사 지점	2016년					연평균	정상시변동범위 (최소 ~ 최대)
	1/4분기	2/4분기	3/4분기	4/4분기	연평균		
주변 지역	동화울	194±9	208±11	197±10	205±4	201	217 (182 ~ 257)
	구죽초등학교	231±4	229±4	216±8	248±6	231	252 (213 ~ 293)
	기계연구원	149±8	166±10	153±11	172±3	160	179 (153 ~ 226)
	대덕초등학교	196±8	206±3	204±4	207±5	203	218 (190 ~ 246)
	새일초등학교	202±6	201±13	199±11	220±4	206	248 (216 ~ 302)
	(구)대동초등학교	192±7	199±11	189±9	232±18	203	218 (159 ~ 242)
	신탄진초등학교	199±2	211±5	205±5	214±11	207	221 (175 ~ 255)
	국방과학연구소	208±5	218±11	208±10	225±9	215	236 (207 ~ 273)
	외삼초등학교	243±8	256±12	241±11	273±12	253	225 (186 ~ 261)
	목동초등학교	192±3	194±9	190±5	209±0	196	216 (185 ~ 237)
	충남대학교	269±7	262±8	247±4	265±9	261	261 (190 ~ 297)
	법동주공아파트	192±1	201±9	193±10	213±9	200	213 (196 ~ 233)
	감성초등학교	163±6	169±2	172±3	175±3	170	187 (165 ~ 213)
	덕송초등학교	213±3	218±7	220±1	223±3	218	233 (204 ~ 264)
	대청댐휴게소	133±2	139±3	141±5	157±4	143	177 (146 ~ 208)
비교 지점	연서면 주민센터	190±2	186±8	194±4	221±6	198	197 (173 ~ 230)
	삼괴동 마을회관	181±7	186±4	183±6	194±3	186	258 (181 ~ 440)
	연산주말농장	153±4	165±5	172±5	173±10	166	181 (154 ~ 203)
	충북대병원	208±1	228±7	215±8	235±6	221	232 (181 ~ 271)
평균	195	202	197	214	202		

* 시료분실.

부록 표 3. 대덕 원자력시설 주변 공기 중 미립자의 방사능 농도 (전알파)

(단위: mBq/m³)

조사 지점		2016년												연평균	평상시변동범위 (최소 ~ 최대)
		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월		
부 지 내	기상탑	0.164 ±0.009	0.177 ±0.009	0.186 ±0.011	0.126 ±0.009	0.115 ±0.009	0.101 ±0.009	0.0849 ±0.0080	0.115 ±0.009	0.120 ±0.008	0.105 ±0.009	0.185 ±0.012	0.169 ±0.010	0.137	0.152 (0.0533 ~ 0.301)
	골프장북쪽	0.178 ±0.010	0.162 ±0.011	0.211 ±0.012	0.133 ±0.009	0.109 ±0.009	0.0932 ±0.0089	0.0686 ±0.0084	0.131 ±0.009	0.119 ±0.008	0.0942 ±0.0094	0.197 ±0.009	0.152 ±0.008	0.137	0.154 (0.0493 ~ 0.290)
	본관 동쪽	0.135 ±0.009	0.132 ±0.010	0.177 ±0.011	0.120 ±0.009	0.114 ±0.009	0.0801 ±0.0084	0.0775 ±0.0084	0.136 ±0.009	0.102 ±0.008	0.0940 ±0.0094	0.167 ±0.009	0.147 ±0.008	0.124	0.143 (0.0508 ~ 0.282)
	독신료	0.146 ±0.009	0.145 ±0.010	0.180 ±0.011	0.130 ±0.009	0.113 ±0.009	0.0820 ±0.0083	0.0578 ±0.0084	0.113 ±0.009	0.0896 ±0.0084	0.0717 ±0.0094	0.191 ±0.009	0.160 ±0.008	0.123	0.133 (0.0451 ~ 0.287)
	하나로서쪽	0.144 ±0.009	0.123 ±0.009	0.190 ±0.011	0.115 ±0.009	0.124 ±0.009	0.102 ±0.009	0.0723 ±0.0084	0.113 ±0.009	0.109 ±0.008	0.0936 ±0.0094	0.184 ±0.009	0.138 ±0.008	0.126	0.145 (0.0529 ~ 0.284)
평균		0.153	0.148	0.189	0.125	0.115	0.0916	0.0722	0.122	0.108	0.0917	0.185	0.153	0.129	
비교 지점	연산 주말농장	0.128 ±0.009	0.136 ±0.010	0.159 ±0.011	0.134 ±0.009	0.120 ±0.010	0.0790 ±0.0085	0.0621 ±0.0084	0.120 ±0.009	0.0862 ±0.0084	0.0934 ±0.0094	0.135 ±0.009	0.122 ±0.008	0.115	0.132 (0.0277 ~ 0.208)

부록 표 4. 대덕 원자력시설 주변 공기 중 미립자의 방사능 농도 (전베타)

(단위: mBq/m³)

조사 지점		2016년													평상시 변동범위 (최소 ~ 최대)
		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	연평균	
부 지 내	기상탑	1.41 ±0.01	1.08 ±0.01	1.36 ±0.02	0.951 ±0.012	0.850 ±0.013	0.824 ±0.012	0.631 ±0.010	1.22 ±0.01	1.05 ±0.01	1.13 ±0.02	1.30 ±0.02	1.54 ±0.01	1.11	1.15 (0.391 ~ 2.04)
	골프장북쪽	1.54 ±0.01	1.44 ±0.02	1.50 ±0.02	0.992 ±0.012	0.853 ±0.013	0.815 ±0.012	0.649 ±0.010	1.19 ±0.01	1.08 ±0.01	1.17 ±0.01	1.41 ±0.02	1.36 ±0.01	1.17	1.16 (0.535 ~ 2.09)
	본관 동쪽	1.36 ±0.01	1.20 ±0.01	1.29 ±0.01	0.941 ±0.012	0.849 ±0.013	0.861 ±0.013	0.598 ±0.010	1.15 ±0.01	1.03 ±0.01	1.11 ±0.01	1.28 ±0.02	1.46 ±0.01	1.09	1.09 (0.351 ~ 1.98)
	독신탄	1.43 ±0.01	1.33 ±0.02	1.29 ±0.01	0.933 ±0.012	0.863 ±0.013	0.797 ±0.012	0.588 ±0.010	1.12 ±0.01	0.986 ±0.010	1.10 ±0.01	1.28 ±0.02	1.46 ±0.01	1.10	1.07 (0.342 ~ 1.90)
	하나로서쪽	1.27 ±0.01	1.12 ±0.01	1.30 ±0.01	0.960 ±0.012	0.850 ±0.013	0.872 ±0.013	0.552 ±0.010	1.10 ±0.01	0.952 ±0.010	1.10 ±0.01	1.25 ±0.02	1.41 ±0.01	1.06	1.11 (0.391 ~ 2.09)
평균		1.40	1.23	1.35	0.955	0.853	0.834	0.604	1.15	1.02	1.12	1.30	1.45	1.11	
비교 지점	연산 주말농장	1.40 ±0.01	1.24 ±0.01	1.23 ±0.01	0.901 ±0.012	0.852 ±0.013	0.771 ±0.012	0.580 ±0.010	1.11 ±0.01	1.02 ±0.01	1.06 ±0.01	1.21 ±0.02	1.44 ±0.01	1.07	1.03 (0.323 ~ 1.86)

부록 표 5. 대덕 원자력시설 주변 공기 중 미립자의 방사능 농도 (감마동위원소)

(단위: mBq/m³)

조사 지점	조사 핵종	2016년													정상시변동범위 (최소 ~ 최대)	
		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	연평균		
부 지 내	기 상 탑	¹³⁴ Cs	<0.00749	<0.00929	<0.00822	<0.00638	<0.00878	<0.00963	<0.00547	<0.00717	<0.00651	<0.0106	<0.0107	<0.00645		<0.00202
		¹³⁷ Cs	<0.00671	<0.00761	<0.00866	<0.00654	<0.0119	<0.00964	<0.00331	<0.00486	<0.00758	<0.0118	<0.0116	<0.00808		<0.00175
		¹³¹ I	<0.0259	<0.0824	<0.0755	<0.0317	<0.0335	<0.0539	<0.0439	<0.0442	<0.0718	<0.0507	<0.0792	<0.0821		<0.0108
		⁶⁰ Co	<0.00772	<0.00997	<0.00816	<0.00732	<0.0111	<0.0122	<0.00726	<0.00909	<0.00659	<0.0162	<0.0106	<0.00731		<0.00313
		⁵¹ Cr	<0.0947	<0.116	<0.110	<0.0743	<0.118	<0.169	<0.0844	<0.119	<0.131	<0.117	<0.122	<0.159		<0.0311
		⁵⁹ Fe	<0.00983	<0.0199	<0.0238	<0.0153	<0.0334	<0.0205	<0.0153	<0.0200	<0.0227	<0.0272	<0.0379	<0.0296		<0.00411
		⁵⁴ Mn	<0.00778	<0.00533	<0.00757	<0.00342	<0.00743	<0.00921	<0.00782	<0.00744	<0.00353	<0.0122	<0.00883	<0.00828		<0.00211
	⁷ Be	4.15±0.20	4.58±0.21	5.99±0.25	6.39±0.24	6.81±0.28	4.60±0.20	2.78±0.15	5.08±0.24	4.82±0.20	4.22±0.22	5.28±0.26	5.64±0.23	5.03	4.51 (2.09 ~ 8.86)	
	대 덕 원 자 력 사 설	¹³⁴ Cs	<0.00608	<0.0102	<0.00969	<0.00529	<0.00920	<0.00750	<0.00908	<0.00976	<0.00677	<0.00998	<0.00730	<0.00689		<0.00253
		¹³⁷ Cs	<0.00627	<0.00623	<0.0105	<0.00807	<0.00679	<0.00733	<0.00930	<0.00930	<0.00803	<0.0110	<0.0105	<0.00654		<0.00243
		¹³¹ I	<0.0478	<0.0528	<0.108	<0.0409	<0.0260	<0.0466	<0.0759	<0.0596	<0.0587	<0.0569	<0.0737	<0.0703		<0.00861
		⁶⁰ Co	<0.00696	<0.0120	<0.0112	<0.00866	<0.0111	<0.00944	<0.00882	<0.0107	<0.00968	<0.0117	<0.00967	<0.00914		<0.00171
		⁵¹ Cr	<0.0587	<0.109	<0.160	<0.0839	<0.128	<0.0682	<0.112	<0.136	<0.0674	<0.148	<0.151	<0.0953		<0.0316
		⁵⁹ Fe	<0.0130	<0.0280	<0.0364	<0.0216	<0.0322	<0.0263	<0.0196	<0.0197	<0.0296	<0.0140	<0.0340	<0.0213		<0.00667
⁵⁴ Mn		<0.00661	<0.0117	<0.0111	<0.00887	<0.0115	<0.00724	<0.0117	<0.00983	<0.00796	<0.00995	<0.0103	<0.00639		<0.00227	
⁷ Be	4.38±0.19	5.61±0.23	6.47±0.28	6.62±0.26	7.19±0.28	4.77±0.21	3.02±0.19	5.11±0.23	5.11±0.21	5.53±0.24	4.82±0.23	4.06±0.17	5.22	4.81 (2.26 ~ 8.60)		

부록 표 5. <계속>

(단위: mBq/m³)

조사 지점	조사 핵종	2016년													평상시변동범위 (최소 ~ 최대)	
		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	연평균		
부 지 내	주 요 매 개 관 단 위	¹³⁴ Cs	<0.00621	<0.00938	<0.00815	<0.0134	<0.00739	<0.00889	<0.00691	<0.00868	<0.00706	<0.00961	<0.00638	<0.0128		<0.00184
		¹³⁷ Cs	<0.00781	<0.0104	<0.0104	<0.0121	<0.00875	<0.00915	<0.00760	<0.0113	<0.00380	<0.00892	<0.00878	<0.0122		<0.00203
		¹³¹ I	<0.0617	<0.0533	<0.0683	<0.0805	<0.0252	<0.0625	<0.0396	<0.0304	<0.0828	<0.0428	<0.0512	<0.152		<0.00657
		⁶⁰ Co	<0.00844	<0.0130	<0.0134	<0.00753	<0.00800	<0.0139	<0.00857	<0.00769	<0.00721	<0.0107	<0.00553	<0.0143		<0.00202
		⁵¹ Cr	<0.105	<0.0889	<0.126	<0.179	<0.0918	<0.113	<0.0968	<0.0755	<0.122	<0.105	<0.0675	<0.182		<0.0156
		⁵⁹ Fe	<0.0214	<0.0282	<0.0124	<0.0164	<0.0242	<0.0277	<0.0196	<0.0255	<0.0241	<0.0299	<0.0263	<0.0469		<0.00360
		⁵⁴ Mn	<0.00821	<0.0104	<0.0125	<0.0106	<0.00826	<0.00858	<0.00639	<0.0123	<0.00779	<0.00930	<0.00871	<0.0141		<0.00181
		⁷ Be	4.17±0.18	5.10±0.24	6.38±0.26	6.61±0.36	6.69±0.24	4.76±0.24	2.67±0.15	4.86±0.21	4.57±0.19	5.22±0.24	4.93±0.22	4.67±0.30	5.05	4.78 (1.63 ~ 18.9)
	독 신 료	¹³⁴ Cs	<0.00893	<0.0147	<0.00804	<0.00623	<0.0121	<0.0123	<0.00560	<0.00847	<0.00626	<0.00750	<0.0134	<0.00574		<0.00210
		¹³⁷ Cs	<0.00902	<0.0156	<0.00592	<0.00701	<0.0168	<0.0117	<0.00867	<0.00995	<0.00552	<0.0101	<0.0176	<0.00720		<0.00203
		¹³¹ I	<0.0723	<0.0703	<0.0480	<0.0387	<0.0832	<0.0951	<0.0397	<0.0601	<0.0521	<0.0531	<0.133	<0.0940		<0.0127
		⁶⁰ Co	<0.00604	<0.0128	<0.00858	<0.00851	<0.00895	<0.0166	<0.00964	<0.0105	<0.00378	<0.00489	<0.00816	<0.00969		<0.00216
		⁵¹ Cr	<0.118	<0.112	<0.0909	<0.0572	<0.186	<0.208	<0.0670	<0.0862	<0.0986	<0.112	<0.191	<0.113		<0.0277
		⁵⁹ Fe	<0.0246	<0.0191	<0.0156	<0.0175	<0.0317	<0.0323	<0.0223	<0.0150	<0.0210	<0.0210	<0.0452	<0.0185		<0.00691
⁵⁴ Mn		<0.00790	<0.0201	<0.00622	<0.00526	<0.0150	<0.00721	<0.00360	<0.00867	<0.00596	<0.00888	<0.0184	<0.00937		<0.00184	
	⁷ Be	4.09±0.23	5.13±0.27	5.55±0.22	6.22±0.22	7.04±0.33	4.87±0.27	2.72±0.13	5.03±0.22	4.86±0.19	5.29±0.24	5.01±0.33	4.54±0.20	5.03	4.54 (1.88 ~ 6.49)	

부록 표 5. <계속>

(단위: mBq/m³)

조사 지점	조사 핵종	2016년													정상시변동범위 (최소 ~ 최대)	
		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	연평균		
부지내	하 나 로 서 쪽	¹³⁴ Cs	<0.00816	<0.00980	<0.00903	<0.00812	<0.00885	<0.00807	<0.00619	<0.00764	<0.00623	<0.0162	<0.00788	<0.00657		<0.00237
		¹³⁷ Cs	<0.00864	<0.00545	<0.0101	<0.00917	<0.00790	<0.00421	<0.0104	<0.00691	<0.00823	<0.0153	<0.00950	<0.00728		<0.00208
		¹³¹ I	<0.0509	<0.0656	<0.0527	<0.0461	<0.0406	<0.0664	<0.0367	<0.0381	<0.0855	<0.0958	<0.0653	<0.0578		<0.0118
		⁶⁰ Co	<0.00722	<0.0106	<0.00999	<0.00934	<0.00441	<0.0105	<0.0101	<0.00830	<0.00869	<0.0189	<0.0115	<0.00767		<0.00310
		⁵¹ Cr	<0.154	<0.140	<0.0945	<0.0782	<0.0658	<0.102	<0.103	<0.0816	<0.131	<0.189	<0.118	<0.103		<0.0239
		⁵⁹ Fe	<0.0243	<0.0228	<0.0204	<0.0178	<0.0280	<0.0226	<0.0143	<0.0228	<0.0154	<0.0549	<0.0266	<0.0245		<0.00784
		⁵⁴ Mn	<0.00863	<0.0128	<0.00851	<0.00780	<0.00459	<0.00867	<0.00905	<0.00986	<0.00674	<0.0180	<0.0122	<0.00889		<0.00226
		⁷ Be	3.93±0.18	4.77±0.21	5.81±0.26	6.68±0.26	6.71±0.27	4.51±0.20	2.79±0.15	4.77±0.21	4.92±0.21	5.36±0.29	4.99±0.23	4.56±0.19	4.98	4.32 (1.76 ~ 6.16)
비교지점	연 산 주 말 농 장	¹³⁴ Cs	<0.00607	<0.00770	<0.00649	<0.00792	<0.00941	<0.00800	<0.00903	<0.0158	<0.00627	<0.00687	<0.00664	<0.00614		<0.00163
		¹³⁷ Cs	<0.00652	<0.00647	<0.00924	<0.00861	<0.0105	<0.00621	<0.00611	<0.0175	<0.00652	<0.00948	<0.00839	<0.00585		<0.00106
		¹³¹ I	<0.0377	<0.0375	<0.0521	<0.0443	<0.0609	<0.0432	<0.0541	<0.0668	<0.0812	<0.0288	<0.0469	<0.0477		<0.0102
		⁶⁰ Co	<0.00890	<0.00825	<0.00850	<0.00520	<0.0137	<0.00969	<0.00880	<0.0199	<0.00894	<0.00777	<0.0125	<0.00497		<0.00137
		⁵¹ Cr	<0.0874	<0.111	<0.0826	<0.102	<0.141	<0.0777	<0.0822	<0.138	<0.118	<0.0897	<0.125	<0.0600		<0.0273
		⁵⁹ Fe	<0.0144	<0.0217	<0.0227	<0.0225	<0.0350	<0.0329	<0.0224	<0.0334	<0.0251	<0.0129	<0.0148	<0.0103		<0.00324
		⁵⁴ Mn	<0.00796	<0.00959	<0.00999	<0.00826	<0.0109	<0.0114	<0.00689	<0.0152	<0.00653	<0.00970	<0.00948	<0.00764		<0.00177
		⁷ Be	4.75±0.19	5.28±0.21	5.51±0.23	6.12±0.23	6.88±0.31	4.51±0.22	2.80±0.15	4.73±0.27	5.24±0.21	5.31±0.23	5.55±0.24	5.16±0.21	5.15	4.78 (1.27 ~ 8.53)

부록 표 6. 대덕 원자력시설 주변 공기 중 방사성옥소 (¹³¹I)의 방사능 농도

(단위: mBq/m³)

년 월	2016년							
	조사 지점	1주	2주	3주	4주	5주	월평균	
							평균	표준 편차
1월	기상탑	<0.129	<0.0849	<0.0620	<0.0770			
	골프장 북쪽	<0.100	<0.0520	<0.0661	<0.103			
	본관동 동쪽	<0.0691	<0.0750	<0.0730	<0.165			
	독신료	<0.0669	<0.0777	<0.120	<0.106			
	하나로 서쪽	<0.0937	<0.121	<0.0866	<0.115			
	연산주말농장	<0.0983	<0.0837	<0.0802	<0.106			
2월	조사 지점	1주	2주	3주	4주	5주	월평균	
							평균	표준 편차
	기상탑	<0.125	<0.0659	<0.0708	<0.0836			
	골프장 북쪽	<0.174	<0.0842	<0.0813	<0.0386			
	본관동 동쪽	<0.119	<0.0463	<0.0726	<0.0784			
	독신료	<0.0617	<0.0917	<0.108	<0.0927			
3월	조사 지점	1주	2주	3주	4주	5주	월평균	
							평균	표준 편차
	기상탑	<0.173	<0.159	<0.111	<0.116	<0.0792		
	골프장 북쪽	<0.113	<0.0735	<0.109	<0.0467	<0.0724		
	본관동 동쪽	<0.109	<0.118	<0.0906	<0.0625	<0.0788		
	독신료	<0.106	<0.113	<0.177	<0.0864	<0.0719		
4월	조사 지점	1주	2주	3주	4주	5주	월평균	
							평균	표준 편차
	기상탑	<0.0973	<0.197	<0.104	<0.0597			
	골프장 북쪽	<0.0902	<0.0728	<0.0631	<0.116			
	본관동 동쪽	<0.0784	<0.210	<0.124	<0.115			
	독신료	<0.137	<0.0865	<0.0710	<0.0794			
5월	조사 지점	1주	2주	3주	4주	5주	월평균	
							평균	표준 편차
	기상탑	<0.0972	<0.125	<0.176	<0.112	<0.0782		
	골프장 북쪽	<0.128	<0.104	<0.0471	<0.132	<0.0680		
	본관동 동쪽	<0.122	<0.0840	<0.0909	<0.0810	<0.194		
	독신료	<0.0662	<0.117	<0.0782	<0.0738	<0.149		
하나로 서쪽	<0.225	<0.103	<0.131	<0.251	<0.0778			
연산주말농장	<0.0831	<0.109	<0.0705	<0.157	<0.128			

부록 표 6. <계속>

(단위: mBq/m³)

년 월	2016년							월평균	
	조사 지점	1주	2주	3주	4주	5주	평균	표준 편차	
6월	기상탑	<0.133	<0.0837	<0.0823	<0.112				
	골프장 북쪽	<0.0969	<0.0983	<0.0449	<0.0615				
	본관동 동쪽	<0.0755	<0.101	<0.0930	<0.125				
	독신료	<0.0680	<0.0825	<0.0715	<0.135				
	하나로 서쪽	<0.227	<0.104	<0.0561	<0.0589				
	연산주말농장	<0.111	<0.121	<0.0870	<0.0742				
7월	기상탑	<0.101	<0.0776	<0.0848	<0.0700				
	골프장 북쪽	<0.0838	<0.0839	<0.0892	<0.102				
	본관동 동쪽	<0.0656	<0.115	<0.0874	<0.0888				
	독신료	<0.0854	<0.0531	<0.141	<0.0435				
	하나로 서쪽	<0.0569	<0.0937	<0.107	<0.0755				
	연산주말농장	<0.0904	<0.0965	<0.0697	<0.0874				
8월	기상탑	<0.0822	<0.0879	<0.0405	<0.0715	<0.114			
	골프장 북쪽	<0.106	<0.0948	<0.146	<0.135	<0.143			
	본관동 동쪽	<0.150	<0.0921	<0.0757	<0.0852	<0.114			
	독신료	<0.0881	<0.0656	<0.0780	<0.0966	<0.0971			
	하나로 서쪽	<0.0700	<0.152	<0.0970	<0.121	<0.111			
	연산주말농장	<0.0392	<0.0694	<0.129	<0.0596	<0.0708			
9월	기상탑	<0.0854	<0.0887	<0.0998	<0.0334				
	골프장 북쪽	<0.100	<0.135	<0.107	<0.0945				
	본관동 동쪽	<0.144	<0.114	<0.114	<0.0733				
	독신료	<0.148	<0.0753	<0.0798	<0.0951				
	하나로 서쪽	<0.126	<0.0871	<0.0939	<0.107				
	연산주말농장	<0.137	<0.0981	<0.0533	<0.150				
10월	기상탑	<0.159	<0.129	<0.0916	<0.126				
	골프장 북쪽	<0.129	<0.0483	<0.0986	<0.143				
	본관동 동쪽	<0.142	<0.145	<0.0596	<0.0885				
	독신료	<0.106	<0.113	<0.136	<0.0912				
	하나로 서쪽	<0.0811	<0.0917	<0.0504	<0.131				
	연산주말농장	<0.123	<0.162	<0.153	<0.109				

부록 표 6. <계속>

(단위: mBq/m³)

년 월	2016년							
	조사 지점	1주	2주	3주	4주	5주	월평균	
평균							표준 편차	
11월	기상탑	<0.154	<0.105	<0.0902	<0.190	<0.153		
	골프장 북쪽	<0.0684	<0.0763	<0.116	<0.118	<0.127		
	본관동 동쪽	<0.156	<0.132	<0.0960	<0.117	<0.127		
	독신료	<0.140	<0.118	<0.0470	<0.130	<0.146		
	하나로 서쪽	<0.125	<0.0696	<0.131	<0.0488	<0.179		
	연산주말농장	<0.110	<0.127	<0.136	<0.0888	<0.139		
12월	조사 지점	1주	2주	3주	4주	5주	월평균	
							평균	표준 편차
	기상탑	<0.0734	<0.106	<0.106	<0.0786			
	골프장 북쪽	<0.121	<0.101	<0.180	<0.0707			
	본관동 동쪽	<0.0676	<0.110	<0.0898	<0.0695			
	독신료	<0.0609	<0.0625	<0.0781	<0.103			
하나로 서쪽	<0.191	<0.105	<0.0933	<0.0366				
연산주말농장	<0.138	<0.0685	<0.0746	<0.0638				
조사 지점	연평균	표준 편차	평상시 변동범위 (최소 ~ 최대)					
기상탑			<0.0162					
골프장 북쪽			<0.0153					
본관동 동쪽			<0.0138					
독신료			<0.0144					
하나로 서쪽			<0.0134					
연산주말농장			<0.0135					

부록 표 7. 대덕 원자력시설 주변 공기 중 수분의 방사능 농도 (삼중수소)

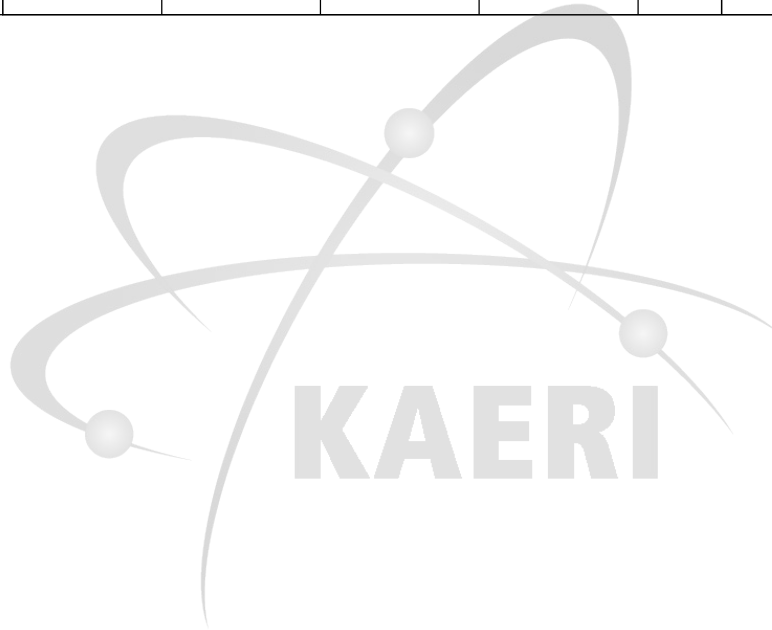
(단위: Bq/m³)

조사 지점		2016년													평상시변동범위 (최소 ~ 최대)
		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	연평균	
부 지 내	본관동동쪽	0.0271 ±0.0071	0.0372 ±0.0095	0.0452 ±0.0082	<0.00917 (0.0217± 0.0135)	0.0331 ±0.0101	<0.0157 (0.0185± 0.0116)	<0.0211 (0.0312± 0.0272)	<0.0182	<0.0212 (0.0392± 0.0134)	<0.0218 (0.0278± 0.0274)	<0.0129 (0.0265± 0.0118)	0.0173± 0.0051	0.0233	0.0706 (<0.00549 ~ 0.231)
	독신료	0.0277± 0.0034	0.0529± 0.0128	0.0409± 0.0090	<0.0106 (0.0393± 0.0165)	<0.0130 (0.0352± 0.0138)	<0.0183	<0.0268 (0.0399± 0.0229)	<0.0223 (0.0378± 0.0238)	<0.0271	<0.0253 (0.0404± 0.0213)	0.0509± 0.0063	0.0213± 0.0066	0.0281	0.0918 (<0.00551 ~ 0.450)
	기상탑	0.0302± 0.0073	0.0294± 0.0079	0.0412± 0.0096	0.0465± 0.0129	<0.0147 (0.0249± 0.0227)	<0.0166	<0.0210 (0.0320± 0.0205)	<0.0242 (0.0536± 0.0287)	<0.0269 (0.0603± 0.0269)	<0.0231 (0.0364± 0.0218)	0.0291± 0.0092	<0.00765 (0.0180± 0.0080)	0.0259	0.0917 (<0.00541 ~ 0.360)
	제3연구동	0.0402± 0.0040	0.0565± 0.0062	0.0599± 0.0122	<0.0108 (0.0498± 0.0173)	<0.0133 (0.0362± 0.0197)	<0.0195	<0.0183 (0.0366± 0.0228)	<0.0258 (0.0847± 0.0375)	0.0416± 0.0135	<0.0185 (0.0497± 0.0255)	0.0193± 0.0050	0.0235± 0.0055	0.0289	0.129 (<0.00555 ~ 0.482)
평균		0.0313	0.0440	0.0468	0.0193	0.0185				0.0292		0.0281	0.0174	0.0266	
비교 지점	연산주말 농장	<0.00559	<0.00603	<0.00797	<0.0124	<0.0147	<0.0217	<0.0261	<0.0311	<0.0304	<0.0255	<0.0198	<0.00848		<0.00490

부록 표 8. 대덕 원자력시설 주변 공기 중 낙진의 방사능 농도 (전베타)

(단위: Bq/m²-90days)

조사 지점		2016년					평상시변동범위 (최소 ~ 최대)
		1/4분기 (3.4)	2/4분기 (6.9)	3/4분기 (9.6)	4/4분기 (12.8)	연평균	
부 지 내	기상탑	22.9±0.4	27.6±0.4	60.6±0.9	23.6±0.4	33.7	26.1 (7.16 ~ 55.8)
	독신료	33.2±0.5	35.6±0.7	60.8±0.8	22.9±0.4	38.1	20.4 (6.59 ~ 37.6)
평균		28.1	31.6	60.7	23.3	35.9	
비교 지점	연산 주말농장	37.2±0.6	36.4±0.7	37.9±0.7	28.4±0.4	35.0	29.4 (6.77 ~ 56.1)



부록 표 9. 대덕 원자력시설 주변 낙진의 방사능 농도 (감마동위원소)

(단위: Bq/m²-90days)

조사 지점	조사 핵종	2016년					정상시변동범위 (최소 ~ 최대)	
		1/4분기 (3.4)	2/4분기 (6.9)	3/4분기 (9.6)	4/4분기 (12.8)	연평균		
부 지 내	기상 탑	¹³⁴ Cs	<0.0535	<0.0312	<0.0332	<0.0228		<0.00756
		¹³⁷ Cs	<0.0659	<0.0350	<0.0382	<0.0371		<0.00926
		¹³¹ I	<0.132	<0.0851	<0.0665	<0.0938		<0.0189
		⁶⁰ Co	<0.0622	<0.0431	<0.0373	<0.0305		<0.00970
		⁵¹ Cr	<0.492	<0.315	<0.359	<0.303		<0.0653
		⁵⁹ Fe	<0.131	<0.0834	<0.0668	<0.0402		<0.0188
		⁵⁴ Mn	<0.0549	<0.0357	<0.0369	<0.0362		<0.00722
	⁷ Be	68.1±2.2	73.4±2.2	186±5	36.2±1.1	91.0	43.4 (2.59 ~ 125)	
	독 신 료	¹³⁴ Cs	<0.0321	<0.0285	<0.0276	<0.0297		<0.00881
		¹³⁷ Cs	<0.0375	<0.0366	<0.0352	<0.0384		<0.00877
		¹³¹ I	<0.0846	<0.0641	<0.0643	<0.0891		<0.0178
		⁶⁰ Co	<0.0379	<0.0398	<0.0263	<0.0389		<0.0111
		⁵¹ Cr	<0.213	<0.333	<0.302	<0.361		<0.0485
		⁵⁹ Fe	<0.0618	<0.0609	<0.0698	<0.0848		<0.0110
⁵⁴ Mn		<0.0281	<0.0331	<0.0325	<0.0330		<0.00990	
⁷ Be	104±3	87.2±2.6	141±5	36.3±1.1	92.2	31.1 (1.54 ~ 88.1)		
비 교 지 점	연산 주말 농장	¹³⁴ Cs	<0.0221	<0.0341	<0.0285	<0.0269		<0.00621
		¹³⁷ Cs	<0.0298	<0.0741	<0.0295	<0.0351		<0.00787
		¹³¹ I	<0.0796	<0.167	<0.0517	<0.105		<0.0156
		⁶⁰ Co	<0.0362	<0.0550	<0.0363	<0.0129		<0.00887
		⁵¹ Cr	<0.265	<0.584	<0.390	<0.246		<0.0179
		⁵⁹ Fe	<0.0804	<0.134	<0.0729	<0.0669		<0.0140
		⁵⁴ Mn	<0.0289	<0.0461	<0.0345	<0.0224		<0.00388
		⁷ Be	114±3	107±3	104±3	40.4±1.3	91.2	32.9 (2.71 ~ 73.8)

부록 표 10. 대덕 원자력시설 주변 표층토양의 방사능 농도 (우라늄)

(단위: Bq/kg-dry)

조사 지점	조사 핵종	2016년			평상시변동범위 (최소 ~ 최대)	
		상반기(3.10)	하반기(9.8)	연평균		
부 지 내	기상탑	²³⁸ U	25.3±0.8	17.1±0.9	21.2	24.7 (23.1 ~ 25.8)
		²³⁵ U	1.24±0.13	0.740±0.170	0.990	1.06 (0.80 ~ 1.27)
		²³⁴ U	24.9±0.8	16.4±0.9	20.7	23.6 (20.6 ~ 26.3)
	덕진소류지	²³⁸ U	52.4±1.7	28.4±1.5	40.4	46.1 (31.5 ~ 67.4)
		²³⁵ U	2.76±0.29	1.16±0.25	1.96	2.26 (1.57 ~ 3.56)
		²³⁴ U	53.8±1.7	30.4±1.6	42.1	48.3 (31.2 ~ 72.2)
평균(²³⁸ U)		38.9	22.8	30.8		
비 교 지 점	연산주말 농장	²³⁸ U	24.9±1.0	29.7±1.6	27.3	23.0 (14.1 ~ 29.7)
		²³⁵ U	1.20±0.18	1.21±0.26	1.21	1.18 (0.547 ~ 1.40)
		²³⁴ U	23.3±0.9	31.8±1.7	27.6	23.6 (11.8 ~ 31.6)

부록 표 11. 대덕 원자력시설 주변 표층토양의 방사능 농도 (스트론튬-90)

(단위: Bq/kg-dry)

조사 지점	2016년			평상시변동범위 (최소 ~ 최대)	
	상반기(3.10)	하반기(9.8)	연평균		
부 지 내	기상탑	<0.171	<0.131 (0.224±0.083)	0.161	0.305 (<0.148 ~ 0.524)
	KNFC본관 뒤 2	0.202±0.060	<0.119 (0.136±0.074)	0.161	0.264 (<0.159 ~ 0.461)
	집수포	<0.169	<0.118 (0.219±0.076)		0.297 (<0.186 ~ 0.439)
	본관동 동쪽	0.201±0.056	<0.118 (0.165±0.074)	0.160	0.305 (<0.154 ~ 0.620)
	독신료	0.231±0.057	<0.122 (0.153±0.076)	0.177	0.262 (<0.135 ~ 0.416)
	덕진소류지	<0.172	<0.111 (0.158±0.070)		0.286 (<0.187 ~ 0.477)
	하나로23	0.193±0.059	<0.115 (0.134±0.072)	0.154	0.264 (<0.171 ~ 0.443)
	평 균	0.191		0.155	
주 변 지 역	구죽초등학교	<0.179	<0.113 (0.139±0.071)		0.334 (<0.180 ~ 0.608)
	기계연구원	<0.169	<0.109		0.290 (<0.146 ~ 0.497)
	새일초등학교	<0.165	<0.139 (0.155±0.087)		0.350 (<0.177 ~ 0.656)
	대청댐휴게소	<0.162	<0.128 (0.131±0.079)		0.351 (<0.185 ~ 0.604)
비 교 지 점	연산주말농장	<0.162	<0.135 (0.185±0.085)		0.280 (<0.150 ~ 0.510)
	평 균		0.123	0.146	

부록 표 12. 대덕 원자력시설 주변 표층토양의 방사능 농도 (감마동위원소)

(단위: Bq/kg-dry)

조사 지점	조사 핵종	2016년			평상시변동범위 (최소 ~ 최대)	
		상반기(3.10)	하반기(9.8)	연평균		
부 지 내	기상탑	¹³⁴ Cs	<0.531	<0.399	.	<0.151
		¹³⁷ Cs	<0.500	<0.454	.	<0.229
		¹³¹ I	<0.942	<1.05	.	<0.339
		⁶⁰ Co	<0.568	<0.303	.	<0.273
		⁵¹ Cr	<2.56	<5.22	.	<1.17
		⁵⁹ Fe	<1.44	<1.41	.	<0.402
		⁵⁴ Mn	<0.555	<0.625	.	<0.224
		⁴⁰ K	1,040±30	1,030±30	1,030	1,030 (922~1,140)
	KNFC 본관 뒤	¹³⁴ Cs	<0.810	<0.709	.	<0.207
		¹³⁷ Cs	<1.19	<1.27	.	1.50 (<0.247~4.33)
		¹³¹ I	<1.41	<2.05	.	<0.373
		⁶⁰ Co	<1.45	<0.832	.	<0.236
		⁵¹ Cr	<5.87	<8.52	.	<3.01
		⁵⁹ Fe	<2.46	<2.16	.	<0.601
		⁵⁴ Mn	<1.15	<0.716	.	<0.251
		⁴⁰ K	1,010±40	725±31	867	878 (786~1,120)
	집수포	¹³⁴ Cs	<0.582	<0.757	.	<0.169
		¹³⁷ Cs	<0.712	<1.08	.	<0.212
		¹³¹ I	<0.890	<2.65	.	<0.242
		⁶⁰ Co	<0.625	<1.20	.	<0.235
		⁵¹ Cr	<5.27	<5.62	.	<0.812
		⁵⁹ Fe	<1.63	<1.82	.	<0.390
		⁵⁴ Mn	<0.678	<1.08	.	<0.191
		⁴⁰ K	1,230±40	1,320±50	1,270	1,030 (919~1,300)
	본관동동쪽	¹³⁴ Cs	<0.621	<0.685	.	<0.223
		¹³⁷ Cs	<0.665	<0.690	.	<0.169
		¹³¹ I	<0.969	<1.29	.	<0.475
		⁶⁰ Co	<0.739	<0.827	.	<0.240
⁵¹ Cr		<7.46	<6.76	.	<1.67	
⁵⁹ Fe		<1.74	<1.80	.	<0.292	
⁵⁴ Mn		<0.857	<0.872	.	<0.336	
⁴⁰ K		1,760±50	1,820±50	1,790	1,710 (1,470~1,900)	

부록 표 12. <계속>

(단위: Bq/kg-dry)

조사 지점	조사 핵종	2016년			정상시변동범위 (최소 ~ 최대)		
		상반기(3.10)	하반기(9.8)	연평균			
부 지 내	독신료	¹³⁴ Cs	<0.518	<0.644	<0.198		
		¹³⁷ Cs	<0.633	<0.815	0.726 (<0.242~1.16)		
		¹³¹ I	<1.70	<1.09	<0.400		
		⁶⁰ Co	<0.537	<0.694	<0.254		
		⁵¹ Cr	<5.18	<5.03	<1.35		
		⁵⁹ Fe	<1.51	<0.863	<0.422		
		⁵⁴ Mn	<0.590	<0.643	<0.197		
		⁴⁰ K	1,030±30	1,030±30	1,030	1,010 (933~1,060)	
	덕진소류지	¹³⁴ Cs	<0.640	<0.596	<0.188		
		¹³⁷ Cs	<0.874	<1.04	0.932 (<0.267~1.39)		
		¹³¹ I	<1.54	<2.02	<0.373		
		⁶⁰ Co	<0.673	<0.933	<0.113		
		⁵¹ Cr	<6.24	<8.37	<1.84		
		⁵⁹ Fe	<1.25	<2.47	<0.477		
		⁵⁴ Mn	<0.799	<0.732	<0.238		
		⁴⁰ K	1,100±40	1,140±40	1,120	1,110 (981~1,170)	
	하나로 23	¹³⁴ Cs	<0.837	<0.601	<0.164		
		¹³⁷ Cs	<1.24	<0.761	<0.244		
		¹³¹ I	<2.54	<1.32	<0.275		
		⁶⁰ Co	<1.43	<0.747	<0.254		
		⁵¹ Cr	<10.0	<4.73	<1.58		
		⁵⁹ Fe	<1.72	<1.83	<0.547		
		⁵⁴ Mn	<1.04	<0.660	<0.237		
		⁴⁰ K	927±36	904±32	916	947 (895~984)	
	주 변 지 역	구즉 초등학교	¹³⁴ Cs	<0.745	<0.758	<0.195	
			¹³⁷ Cs	1.99±0.57	15.8±0.9	8.87	6.39 (<0.273~15.5)
			¹³¹ I	<1.77	<1.69	<0.457	
			⁶⁰ Co	<0.895	<0.895	<0.311	
⁵¹ Cr			<8.50	<3.80	<1.31		
⁵⁹ Fe			<1.56	<2.74	<0.664		
⁵⁴ Mn			<0.805	<0.964	<0.302		
⁴⁰ K			1,150±40	1,130±40	1,140	1,040 (902~1,130)	

부록 표 12. <계속>

(단위: Bq/kg-dry)

조사 지점	조사 핵종	2016년			평상시변동범위 (최소 ~ 최대)		
		상반기(3.10)	하반기(9.8)	연평균			
주 변 지 역	기계연구원	¹³⁴ Cs	<0.566	<0.611	-	<0.173	
		¹³⁷ Cs	<0.708	<0.744	-	<0.218	
		¹³¹ I	<0.894	<1.19	-	<0.249	
		⁶⁰ Co	<0.643	<0.634	-	<0.173	
		⁵¹ Cr	<5.65	<3.77	-	<1.50	
		⁵⁹ Fe	<1.62	<1.83	-	<0.508	
		⁵⁴ Mn	<0.665	<0.810	-	<0.215	
		⁴⁰ K	1,000±40	925±31	964	922 (873~1,060)	
	새일초등학교	¹³⁴ Cs	<0.775	<0.513	-	<0.264	
		¹³⁷ Cs	<0.988	<0.709	-	<0.385	
		¹³¹ I	<1.57	<1.25	-	<0.308	
		⁶⁰ Co	<0.791	<0.697	-	<0.376	
		⁵¹ Cr	<7.25	<4.45	-	<5.07	
		⁵⁹ Fe	<1.66	<1.33	-	<0.948	
		⁵⁴ Mn	<0.956	<0.640	-	<0.348	
		⁴⁰ K	1,060±40	965±32	1,010	1,010 (696~1,120)	
	대청땀휴게소	¹³⁴ Cs	<0.661	<0.592	-	<0.204	
		¹³⁷ Cs	<0.706	<0.801	-	0.864 (<0.265~1.71)	
		¹³¹ I	<2.11	<1.44	-	<0.388	
		⁶⁰ Co	<0.843	<0.760	-	<0.168	
		⁵¹ Cr	<3.30	<7.25	-	<1.66	
		⁵⁹ Fe	<1.60	<1.85	-	<0.659	
		⁵⁴ Mn	<0.817	<0.808	-	<0.238	
		⁴⁰ K	1,040±40	1,030±30	1,030	992 (922~1,050)	
	비 교 지 점	연산주말농장	¹³⁴ Cs	<0.569	<0.585	-	<0.225
			¹³⁷ Cs	<0.627	<0.563	-	<0.232
			¹³¹ I	<0.932	<1.03	-	<0.269
			⁶⁰ Co	<0.613	<0.714	-	<0.305
⁵¹ Cr			<6.83	<4.37	-	<0.652	
⁵⁹ Fe			<1.63	<0.792	-	<0.637	
⁵⁴ Mn			<0.807	<0.710	-	<0.283	
⁴⁰ K			815±28	875±30	845	940 (710~1,160)	

부록 표 12. <계속>

(단위: Bq/kg-dry)

조사 지점	조사 핵종	2016년			평상시변동범위 (최소 ~ 최대)	
		상반기(3.10)	하반기(9.8)	연평균		
부 지 내	가연물 처리동 북쪽*	¹³⁴ Cs	<0.640	<0.577	-	<0.222
		¹³⁷ Cs	<0.763	<0.756	-	0.939 (<0.310~2.35)
		¹³¹ I	<0.934	<0.746	-	<0.431
		⁶⁰ Co	<0.574	<0.676	-	<0.306
		⁵¹ Cr	<5.86	<5.12	-	<0.940
		⁵⁹ Fe	<1.06	<0.916	-	<0.566
		⁵⁴ Mn	<0.719	<0.687	-	<0.243
		⁴⁰ K	897±30	935±32	916	911 (881~940)
	가연물 처리동 남쪽*	¹³⁴ Cs	<0.647	<0.662	-	<0.190
		¹³⁷ Cs	<0.733	<0.792	-	1.17 (<0.247~3.11)
		¹³¹ I	<1.00	<1.07	-	<0.528
		⁶⁰ Co	<1.10	<0.699	-	<0.282
		⁵¹ Cr	<5.60	<3.73	-	<1.52
		⁵⁹ Fe	<1.84	<1.22	-	<0.320
	⁵⁴ Mn	<0.774	<0.657	-	<0.268	
	⁴⁰ K	934±34	971±33	953	974 (923~1,030)	

* 가연물 처리시설 가동으로 인한 조사 지점 추가로 2011년 하반기부터 조사함.

부록 표 13. 대덕 원자력시설 주변 하천토양의 방사능 농도 (우라늄)

(단위: Bq/kg-dry)

조사 지점		조사 핵종	2016년					정상시변동범위 (최소 ~ 최대)
			1/4분기 (3.8)	2/4분기 (6.10)	3/4분기 (9.9)	4/4분기 (12.9)	연평균	
부 지 내	정문앞배수구	²³⁸ U	41.3±1.3	50.7±1.4	33.9±1.5	26.5±1.0	38.1	30.8 (15.9 ~ 63.2)
		²³⁵ U	2.34±0.25	2.64±0.25	1.42±0.25	1.36±0.18	1.94	1.77 (0.926 ~ 3.56)
		²³⁴ U	45.4±1.4	56.1±1.5	33.5±1.5	25.0±0.9	40.0	35.1 (19.0 ~ 77.4)
	본관동쪽 배수구	²³⁸ U	28.6±1.0	33.1±1.2	33.6±1.4	48.6±1.5	36.0	24.1 (18.6 ~ 32.9)
		²³⁵ U	1.43±0.19	2.14±0.26	1.21±0.22	1.99±0.22	1.69	1.23 (0.773 ~ 1.71)
		²³⁴ U	35.0±1.1	35.5±1.3	33.6±1.4	50.7±1.6	38.7	26.1 (20.5 ~ 34.9)
평균(²³⁸ U)			35.0	41.9	33.8	37.6	37.0	
주 변 지 역	배수구 합류지점	²³⁸ U	30.3±1.1	37.2±1.3	49.5±1.7	45.0±1.7	40.5	29.5 (17.0 ~ 70.3)
		²³⁵ U	1.74±0.22	1.96±0.27	2.41±0.28	2.15±0.27	2.07	1.59 (0.927 ~ 4.23)
		²³⁴ U	32.6±1.1	40.2±1.3	52.8±1.7	46.9±1.7	43.1	31.5 (19.0 ~ 69.2)
비 교 지 점	연산주말농장	²³⁸ U	41.6±1.5	41.1±1.7	32.0±1.2	36.8±1.6	37.9	29.9 (21.3 ~ 40.3)
		²³⁵ U	2.17±0.26	2.65±0.34	1.36±0.21	2.20±0.31	2.10	1.53 (1.14 ~ 2.01)
		²³⁴ U	41.8±1.5	42.6±1.7	32.6±1.2	36.9±1.7	38.5	30.4 (23.2 ~ 38.4)
평균(²³⁸ U)			36.0	39.2	40.8	40.9	39.2	

부록 표 14. 대덕 원자력시설 주변 하천토양의 방사능 농도 (감마동위원소)

(단위: Bq/kg-dry)

조사 지점	조사 핵종	2016년					평상시변동범위 (최소 ~ 최대)	
		1/4분기 (3.8)	2/4분기 (6.10)	3/4분기 (9.9)	4/4분기 (12.9)	연평균		
부지내	정문앞배수구	¹³⁴ Cs	<0.360	<0.535	<0.380	<0.350	.	<0.138
		¹³⁷ Cs	<0.545	<0.609	<0.523	<0.432	.	0.690 (<0.203 ~ 1.97)
		¹³¹ I	<0.529	<1.40	<0.630	<0.807	.	<0.146
		⁶⁰ Co	<0.649	<0.695	<0.545	<0.437	.	<0.177
		⁵¹ Cr	<3.79	<4.62	<3.62	<3.54	.	<1.04
		⁵⁹ Fe	<1.17	<1.26	<0.605	<1.43	.	<0.405
		⁵⁴ Mn	<0.583	<0.583	<0.552	<0.423	.	<0.162
	⁴⁰ K	850±29	868±28	842±27	809±25	842	842 (767 ~ 921)	
	본관동쪽배수구	¹³⁴ Cs	<0.495	<0.546	<0.520	<0.541	.	<0.132
		¹³⁷ Cs	<0.562	<0.556	<0.671	<0.589	.	<0.186
		¹³¹ I	<0.836	<1.42	<0.732	<0.688	.	<0.305
		⁶⁰ Co	<0.642	<0.659	<0.627	<0.654	.	<0.206
		⁵¹ Cr	<2.91	<3.92	<3.04	<5.67	.	<1.43
		⁵⁹ Fe	<0.901	<1.43	<0.577	<1.19	.	<0.202
⁵⁴ Mn		<0.594	<0.673	<0.493	<0.616	.	<0.187	
⁴⁰ K	945±31	1,010±30	916±29	863±27	934	867 (735 ~ 989)		
주변지역	배수구 합류지점	¹³⁴ Cs	<0.695	<0.709	<0.399	<0.384	.	<0.131
		¹³⁷ Cs	<0.676	<0.863	<0.541	<0.440	.	0.647 (<0.178 ~ 1.03)
		¹³¹ I	<0.999	<1.30	<0.785	<0.788	.	<0.334
		⁶⁰ Co	<0.527	<0.779	<0.777	<0.406	.	<0.190
		⁵¹ Cr	<6.71	<8.46	<3.66	<4.26	.	<1.37
		⁵⁹ Fe	<0.880	<1.90	<0.710	<1.06	.	<0.372
		⁵⁴ Mn	<0.818	<0.960	<0.455	<0.517	.	<0.167
		⁴⁰ K	879±32	947±35	924±30	864±27	903	911 (764 ~ 1,290)
비교지점	연산주말 농장	¹³⁴ Cs	<0.542	<0.665	<0.713	<0.635	.	<0.166
		¹³⁷ Cs	<0.635	<0.764	<1.05	<0.753	.	<0.209
		¹³¹ I	<0.691	<0.912	<1.34	<1.40	.	<0.295
		⁶⁰ Co	<0.694	<0.731	<0.450	<0.744	.	<0.128
		⁵¹ Cr	<3.41	<8.24	<6.09	<4.89	.	<1.22
		⁵⁹ Fe	<1.40	<1.22	<2.20	<1.03	.	<0.359
		⁵⁴ Mn	<0.592	<0.832	<0.781	<0.825	.	<0.197
		⁴⁰ K	1,060±30	901±32	867±33	803±29	908	956 (742 ~ 1,050)

부록 표 15. 대덕원자력시설 주변 솔잎의 방사능 농도 (감마동위원소)

(단위: Bq/kg-fresh)

조사 지점	조사 핵종	2016년			정상시변동범위 (최소 ~ 최대)	
		상반기(3.2)	하반기(9.1)	연평균		
부 지 내	본관동쪽	¹³⁴ Cs	<0.0950	<0.0578	.	<0.0159
		¹³⁷ Cs	<0.0987	<0.0747	.	<0.0261
		¹³¹ I	<0.105	<0.0967	.	<0.0223
		⁶⁰ Co	<0.0770	<0.0849	.	<0.0178
		⁵¹ Cr	<0.662	<0.821	.	<0.107
		⁵⁹ Fe	<0.101	<0.155	.	<0.0528
		⁵⁴ Mn	<0.104	<0.0853	.	<0.0214
		⁴⁰ K	44.6±2.8	64.2±2.9	54.4	57.3 (47.3 ~ 68.0)
		⁷ Be	19.7±1.7	25.9±1.3	22.8	11.0 (7.63 ~ 14.8)
	기상탑	¹³⁴ Cs	<0.0750	<0.0607	.	<0.0224
		¹³⁷ Cs	<0.0784	<0.0591	.	<0.0307
		¹³¹ I	<0.155	<0.0948	.	<0.0326
		⁶⁰ Co	<0.113	<0.0484	.	<0.0211
		⁵¹ Cr	<0.867	<0.637	.	<0.227
		⁵⁹ Fe	<0.179	<0.159	.	<0.0315
		⁵⁴ Mn	<0.0808	<0.0720	.	<0.0237
		⁴⁰ K	40.5±2.8	96.5±3.5	68.5	52.5 (45.1 ~ 65.4)
		⁷ Be	18.0±1.2	21.3±1.1	19.6	13.0 (7.95 ~ 19.9)
비 교 지 점	연산주말농 장	¹³⁴ Cs	<0.0779	<0.0779	.	<0.0271
		¹³⁷ Cs	<0.0828	<0.0434	.	<0.0235
		¹³¹ I	<0.108	<0.0921	.	<0.0504
		⁶⁰ Co	<0.0585	<0.0633	.	<0.0382
		⁵¹ Cr	<0.716	<0.689	.	<0.195
		⁵⁹ Fe	<0.182	<0.0926	.	<0.0658
		⁵⁴ Mn	<0.0787	<0.0937	.	<0.0349
		⁴⁰ K	77.2±3.4	99.9±3.7	88.6	86.4 (75.1 ~ 95.8)
		⁷ Be	22.6±1.2	20.8±1.1	21.7	12.9 (11.1 ~ 17.4)

부록 표 16. 대덕 원자력시설 주변 빗물의 방사능 농도 (삼중수소)

(단위: Bq/L)

조사 지점		2016년												연평균	평상시변동범위 (최소 ~ 최대)
		1월 (1.29)	2월 (2.29)	3월 (3.31)	4월 (4.28)	5월 (5.31)	6월 (6.30)	7월 (7.29)	8월 (8.31)	9월 (9.30)	10월 (10.31)	11월 (11.30)	12월 (12.30)		
부 지 내	본관동 동쪽	<1.72(2.31 ±1.76)	11.1±2.3	<1.65	<1.64	<1.60	<1.64	<1.65	<1.69	<1.70	<1.66	<1.72	<1.65	2.46	2.53 (<1.58 ~ 11.8)
	독신료	4.50±1.34	11.8±2.4	<1.65	<1.64	<1.60	<1.64	<1.65	<1.69	<1.70	<1.66(2.72 ±1.87)	<1.72	<1.65	2.74	4.25 (<1.58 ~ 24.4)
	기상탑	<1.72(2.61 ±1.52)	8.88±2.00	<1.65	<1.64(3.27 ±1.92)	<1.60	<1.64	<1.65	<1.69	<1.70	<1.66(1.98 ±1.96)	<1.72	<1.65	2.27	5.04 (<1.58 ~ 34.4)
	제3연구동	6.80±2.06	17.5±1.7	<1.65(4.02 ±1.66)	<1.64	<1.60	<1.64	<1.65	<1.69	<1.70	<1.66	<1.72	<1.65(2.04 ±1.48)	3.41	6.18 (<1.58 ~ 37.5)
평균		3.69	12.3											2.72	
비 교 지 점	연산 주말 농장	<1.72	<1.66	<1.65	<1.64	<1.60	<1.64	<1.65	<1.69	<1.70	<1.66	<1.72	<1.65		<1.58

부록 표 17. 대덕 원자력시설 주변 빗물의 방사능 농도 (전베타)

(단위: Bq/L)

조사 지점		2016년												연평균	평상시변동범위 (최소 ~ 최대)
		1월 (1.29)	2월 (2.29)	3월 (3.31)	4월 (4.28)	5월 (5.31)	6월 (6.30)	7월 (7.29)	8월 (8.31)	9월 (9.30)	10월 (10.31)	11월 (11.30)	12월 (12.30)		
부 지 내	독신료	0.114 ±0.012	0.0781 ±0.0112	<0.0277	0.0514 ±0.0101	0.0547 ±0.0105	0.0421 ±0.0097	0.0452 ±0.0099	0.0924 ±0.0109	<0.0273	0.0645 ±0.0103	0.735 ±0.024	0.0301 ±0.0101	0.114	0.0891 (<0.0280 ~ 0.318)
	기상탑	0.0931 ±0.0110	0.0508 ±0.0104	0.0293 ±0.0095	0.0566 ±0.0103	0.0397 ±0.0101	<0.0267	0.0315 ±0.0094	0.0696 ±0.0103	<0.0273	0.0281 ±0.0091	0.0828 ±0.0112	<0.0298	0.0471	0.0742 (<0.0243 ~ 0.292)
	분관동 동쪽	0.0957 ±0.0111	0.0566 ±0.0106	<0.0277	<0.0272	<0.0286	0.0387 ±0.0096	0.0285 ±0.0093	0.0539 ±0.0097	<0.0273	<0.0262	0.0920 ±0.0115	0.0344 ±0.0102	0.0447	0.0779 (<0.0243 ~ 0.253)
	제3연구동	0.0645 ±0.0101	0.0905 ±0.0116	<0.0277	0.0365 ±0.0096	0.0410 ±0.0101	0.0441 ±0.0098	<0.0269	0.0767 ±0.0105	<0.0273	0.0266 ±0.0091	0.256 ±0.016	0.0415 ±0.0105	0.0633	0.0727 (<0.0243 ~ 0.240)
평균		0.0918	0.0690	0.0281	0.0429	0.0410	0.0379	0.0330	0.0731		0.0363	0.292	0.0340	0.0672	
비교 지점	연산 주말농장	0.252 ±0.015	0.0651 ±0.0108	<0.0277	<0.0272	<0.0286	0.0401 ±0.0096	<0.0269	0.0634 ±0.0101	<0.0273	<0.0262	0.110 ±0.012	<0.0298	0.0604	0.0856 (<0.0260 ~ 0.357)

부록 표 18. 대덕원자력시설 주변 빗물의 방사능 농도 (감마동위원소)

(단위: Bq/L)

조사 지점	조사 핵종	2016년													연평균	정상시변동범위 (최소 ~ 최대)	
		1월* (1.29)	2월 (2.29)	3월 (3.31)	4월 (4.28)	5월 (5.31)	6월 (6.30)	7월 (7.29)	8월 (8.31)	9월 (9.30)	10월 (10.31)	11월 (11.30)	12월 (12.30)				
부 지 내	독 신 묘	¹³⁴ Cs	<0.0744	<0.00345	<0.00326	<0.00482	<0.00384	<0.00300	<0.00453	<0.00493	<0.00257	<0.00288	<0.00449	<0.00336		<0.000857	
		¹³⁷ Cs	<0.0738	<0.00335	<0.00365	<0.00588	<0.00233	<0.00488	<0.00543	<0.00445	<0.00420	<0.00344	<0.00481	<0.00395		<0.000673	
		¹³¹ I	<0.179	<0.00710	<0.00351	<0.00749	<0.00526	<0.00714	<0.00876	<0.00745	<0.00627	<0.00392	<0.0123	<0.00321		<0.00112	
		⁶⁰ Co	<0.0434	<0.00455	<0.00399	<0.00436	<0.00264	<0.00264	<0.00599	<0.00551	<0.00307	<0.00246	<0.00523	<0.00293		<0.00127	
		⁵¹ Cr	<0.890	<0.0361	<0.0165	<0.0336	<0.0320	<0.0347	<0.0546	<0.0421	<0.0334	<0.0254	<0.0505	<0.0315		<0.00228	
		⁵⁹ Fe	<0.243	<0.00907	<0.00346	<0.00544	<0.00811	<0.00489	<0.0104	<0.0143	<0.00627	<0.00623	<0.0112	<0.00728		<0.00123	
		⁵⁴ Mn	<0.0996	<0.00464	<0.00308	<0.00410	<0.00327	<0.00478	<0.00713	<0.00616	<0.00379	<0.00344	<0.00476	<0.00291		<0.000831	
	계 내	계 내	⁴⁰ K	<2.14	<0.0990	<0.0947	<0.118	<0.0913	<0.0788	<0.118	<0.121	<0.0854	<0.0842	1.10 ±0.11	0.149 ±0.043	0.357	<0.0330
			¹³⁴ Cs	<0.0422	<0.00304	<0.00334	<0.00292	<0.00227	<0.00346	<0.00506	<0.00356	<0.00298	<0.00282	<0.00489	<0.00295		<0.000961
			¹³⁷ Cs	<0.0392	<0.00198	<0.00218	<0.00218	<0.00254	<0.00367	<0.00673	<0.00418	<0.00194	<0.00357	<0.00556	<0.00391		<0.000691
			¹³¹ I	<0.115	<0.00640	<0.00395	<0.00708	<0.00271	<0.00764	<0.00787	<0.00298	<0.00476	<0.00443	<0.00925	<0.00677		<0.000973
			⁶⁰ Co	<0.0481	<0.00256	<0.00408	<0.00286	<0.00253	<0.00182	<0.00623	<0.00345	<0.00301	<0.00346	<0.00580	<0.00379		<0.000590
			⁵¹ Cr	<0.506	<0.0276	<0.0366	<0.0369	<0.0191	<0.0269	<0.0619	<0.0268	<0.0283	<0.0285	<0.0360	<0.0289		<0.00723
			⁵⁹ Fe	<0.104	<0.0104	<0.00762	<0.00780	<0.00525	<0.00605	<0.00949	<0.00711	<0.00860	<0.00717	<0.0103	<0.00798		<0.00218
계 내	계 내	⁵⁴ Mn	<0.0465	<0.00247	<0.00407	<0.00354	<0.00268	<0.00330	<0.00637	<0.00338	<0.00375	<0.00336	<0.00504	<0.00358		<0.000727	
		⁴⁰ K	<1.51	<0.110	<0.108	<0.124	<0.102	<0.108	<0.112	<0.110	<0.105	0.228 ±0.057	<0.147	<0.106	0.239	<0.0323	

부록 표 18. <계속>

(단위: Bq/L)

조사 지점	조사 핵종	2016년												연평균	평상시변동범위 (최소 ~ 최대)
		1월* (1.29)	2월 (2.29)	3월 (3.31)	4월 (4.28)	5월 (5.31)	6월 (6.30)	7월 (7.29)	8월 (8.31)	9월 (9.30)	10월 (10.31)	11월 (11.30)	12월 (12.30)		
부 지 내	제 3 연 구 배	¹³⁴ Cs	<0.0603	<0.00348	<0.00368	<0.00361	<0.00345	<0.00210	<0.00230	<0.00338	<0.00351	<0.00392	<0.00398	<0.00277	<0.000854
		¹³⁷ Cs	<0.0783	<0.00369	<0.00484	<0.00406	<0.00412	<0.00244	<0.00266	<0.00199	<0.00285	<0.00511	<0.00413	<0.00312	<0.000844
		¹³¹ I	<0.115	<0.00575	<0.00562	<0.00663	<0.00462	<0.00390	<0.00369	<0.00419	<0.00465	<0.00426	<0.00848	<0.00412	<0.000811
		⁶⁰ Co	<0.0667	<0.00307	<0.00311	<0.00431	<0.00158	<0.00274	<0.00236	<0.00231	<0.00297	<0.00327	<0.00402	<0.00335	<0.000660
		⁵¹ Cr	<0.720	<0.0335	<0.0391	<0.0289	<0.0269	<0.0202	<0.0186	<0.0257	<0.0402	<0.0177	<0.0508	<0.0227	<0.00870
		⁵⁹ Fe	<0.159	<0.00454	<0.00948	<0.00624	<0.00921	<0.00322	<0.00460	<0.00672	<0.00569	<0.00814	<0.00978	<0.00662	<0.00101
		⁵⁴ Mn	<0.0679	<0.00385	<0.00503	<0.00360	<0.00320	<0.00266	<0.00276	<0.00398	<0.00404	<0.00429	<0.00367	<0.00257	<0.00108
	⁴⁰ K	<1.86	<0.0950	<0.113	<0.102	<0.135	<0.0821	<0.0772	<0.104	<0.104	<0.0987	<0.118	<0.0766	0.121 (<0.0100 ~ 0.644)	
	기 상 탑	¹³⁴ Cs	<0.0651	<0.00305	<0.00494	<0.00368	<0.00475	<0.00462	<0.00350	<0.00378	<0.00381	<0.00306	<0.00511	<0.00486	<0.00101
		¹³⁷ Cs	<0.0621	<0.00427	<0.00359	<0.00295	<0.00569	<0.00447	<0.00284	<0.00309	<0.00506	<0.00259	<0.00626	<0.00255	<0.000951
		¹³¹ I	<0.176	<0.00439	<0.00387	<0.00688	<0.00285	<0.00826	<0.00576	<0.00435	<0.00592	<0.00504	<0.00607	<0.00611	<0.000758
		⁶⁰ Co	<0.0689	<0.00467	<0.00469	<0.00431	<0.00533	<0.00521	<0.00195	<0.00471	<0.00452	<0.00416	<0.00496	<0.00267	<0.00126
		⁵¹ Cr	<0.652	<0.0279	<0.0384	<0.0239	<0.0406	<0.0483	<0.0221	<0.0271	<0.0327	<0.0267	<0.0267	<0.0494	<0.00783
		⁵⁹ Fe	<0.129	<0.00852	<0.0109	<0.00606	<0.0104	<0.00866	<0.00891	<0.00754	<0.0103	<0.00888	<0.00610	<0.0104	<0.00122
⁵⁴ Mn		<0.0341	<0.00401	<0.00587	<0.00331	<0.00484	<0.00487	<0.00258	<0.00359	<0.00362	<0.00411	<0.00562	<0.00482	<0.00120	
⁴⁰ K	<1.68	<0.0977	<0.122	<0.103	<0.124	<0.110	<0.0914	<0.0968	<0.0926	<0.108	<0.123	<0.117	0.120 (<0.0291 ~ 0.449)		

부록 표 18. <계속>

(단위: Bq/L)

조사 지점	조사 핵종	2016년												연평균	평상시변동범위 (최소 ~ 최대)	
		1월* (1.29)	2월 (2.29)	3월 (3.31)	4월 (4.28)	5월 (5.31)	6월 (6.30)	7월 (7.29)	8월 (8.31)	9월 (9.30)	10월 (10.31)	11월 (11.30)	12월 (12.30)			
비 교 지 점	연 산 주 말 농 장	¹³⁴ Cs	<0.0106	<0.00359	<0.00305	<0.00314	<0.00351	<0.00367	<0.00326	<0.00205	<0.00406	<0.00453	<0.00283	<0.00344		<0.00107
		¹³⁷ Cs	<0.0141	<0.00289	<0.00436	<0.00206	<0.00482	<0.00419	<0.00187	<0.00169	<0.00648	<0.00795	<0.00399	<0.00338		<0.000822
		¹³¹ I	<0.0317	<0.00751	<0.00281	<0.00772	<0.00591	<0.00535	<0.00439	<0.00347	<0.0116	<0.00885	<0.00696	<0.00579		<0.00122
		⁶⁰ Co	<0.0145	<0.00316	<0.00471	<0.00466	<0.00463	<0.00343	<0.00385	<0.00290	<0.00634	<0.00353	<0.00412	<0.00358		<0.00128
		⁵¹ Cr	<0.142	<0.0361	<0.0197	<0.0278	<0.0169	<0.0174	<0.0276	<0.0220	<0.0253	<0.0651	<0.0368	<0.0327		<0.00559
		⁵⁹ Fe	<0.0320	<0.00477	<0.00575	<0.00925	<0.00706	<0.00703	<0.00791	<0.00324	<0.00986	<0.0120	<0.00852	<0.00668		<0.00113
		⁵⁴ Mn	<0.0127	<0.00342	<0.00347	<0.00212	<0.00373	<0.00384	<0.00370	<0.00179	<0.00449	<0.00800	<0.00413	<0.00318		<0.000890
		⁴⁰ K	<0.378	<0.0971	<0.108	<0.0926	<0.111	<0.105	<0.101	<0.0775	<0.109	<0.119	<0.106	<0.0945		<0.0342

* 갈수기로 인한 시료 부족.

부록 표 19. 대덕 원자력시설 주변 지표수의 방사능 농도 (삼중수소)

(단위: Bq/L)

조사 지점		2016년												연평균	평상시변동범위 (최소 ~ 최대)
		1월 (1.22)	2월 (2.24)	3월 (3.23)	4월 (4.22)	5월 (5.19)	6월 (6.22)	7월 (7.22)	8월 (8.29)	9월 (9.23)	10월 (10.25)	11월 (11.23)	12월 (12.21)		
부 지 내	덕진 소류지	<1.63(3.26 ±1.31)	<1.76	<1.69(2.50 ±1.17)	<1.62(2.83 ±2.19)	<1.65(3.44 ±1.43)	<1.64(1.96 ±1.22)	<1.64(2.94 ±1.67)	<1.60(2.23 ±1.69)	<1.68(2.42 ±1.89)	<1.66(2.00 ±2.13)	<1.77	<1.76(2.23 ±2.10)		2.56 (<1.58 ~ 10.5)
	오페수 처리장앞	<1.63(4.63 ±1.73)	4.48±1.32	<1.69(4.67 ±1.81)	7.19±1.89	10.2±2.0	<1.64(4.25 ±2.04)	<1.64(5.63 ±5.04)	6.64±1.18	<1.68(7.40 ±2.53)	<1.66(1.77 ±1.64)	<1.77(5.21 ±2.34)	<1.76(4.94 ±1.82)	3.50	9.74 (<1.67 ~ 21.2)
	정문앞 배수구	<1.63(3.39 ±1.71)	<1.76	<1.69(3.38 ±1.55)	<1.62(2.90 ±1.93)	<1.65(2.94 ±1.10)	<1.64(3.02 ±1.57)	<1.64(3.15 ±1.48)	5.31±0.95	<1.68(3.04 ±1.79)	<1.66(1.71 ±1.63)	<1.77	<1.76(2.56 ±2.00)	1.98	2.92 (<1.55 ~ 8.08)
	본관동편 배수구	<1.63	<1.76	<1.69	<1.62	<1.65(2.21 ±1.33)	<1.64	<1.65	<1.60	<1.68	<1.66	<1.77(2.71 ±1.75)	<1.76		2.21 (<1.55 ~ 7.79)
평균			2.44		3.01	3.79			3.79					2.21	
주변 지역	배수구 합류지점	<1.63(2.21 ±1.67)	<1.76	<1.69(2.98 ±1.41)	<1.62(3.60 ±1.72)	<1.65(3.29 ±1.81)	<1.64(2.73 ±1.54)	<1.64(2.31 ±1.27)	4.29±1.34	<1.68(3.15 ±1.93)	<1.66(3.08 ±2.11)	<1.77(3.61 ±1.60)	<1.76(3.25 ±1.25)	1.90	3.57 (<1.58 ~ 8.21)
비교 지점	연산 주말농장	<1.63	<1.76	<1.69	<1.62	<1.65	<1.64	<1.65	<1.60	<1.68	<1.66	<1.77	<1.76		<1.55
평균									2.95					1.79	

부록 표 20. 대덕 원자력시설 주변 지표수의 방사능 농도 (전베타)

(단위: Bq/L)

조사 지점		2016년												연평균	평상시변동범위 (최소 ~ 최대)
		1월 (1.22)	2월 (2.24)	3월 (3.23)	4월 (4.22)	5월 (5.19)	6월 (6.22)	7월 (7.22)	8월 (8.29)	9월 (9.23)	10월 (10.25)	11월 (11.23)	12월 (12.21)		
부 지 내	정문앞배수구	0.104 ±0.011	0.0677 ±0.0107	0.107 ±0.011	0.0632 ±0.0105	0.112 ±0.012	0.0969 ±0.0110	0.0945 ±0.0121	0.118 ±0.013	0.0606 ±0.0106	0.0803 ±0.0111	0.0982 ±0.0124	0.106 ±0.012	0.0924	0.108 (0.0567 ~ 0.247)
	본관동편배수구	0.100 ±0.011	0.0879 ±0.0113	0.105 ±0.011	0.101 ±0.012	0.113 ±0.012	0.114 ±0.011	0.100 ±0.012	0.120 ±0.013	0.0940 ±0.0116	0.100 ±0.0117	0.122 ±0.013	0.116 ±0.013	0.106	0.0937 (0.0303 ~ 0.189)
	오폐수처리장앞	0.144 ±0.012	0.194 ±0.014	0.159 ±0.013	0.125 ±0.012	0.146 ±0.013	0.196 ±0.014	0.137 ±0.013	0.160 ±0.014	0.160 ±0.013	0.0539 ±0.0103	0.284 ±0.017	0.215 ±0.015	0.164	0.179 (0.109 ~ 0.309)
	덕진 소류지	0.0254 ±0.0086	<0.0276	<0.0255	<0.0272	<0.0260	0.0367 ±0.0089	0.0219 ±0.0099	0.0154 ±0.0099	<0.0280	0.0212 ±0.0092	<0.0307	0.0255 ±0.0097	0.0259	0.0373 (0.0248 ~ 0.102)
평균		0.0934	0.0943	0.0991	0.0791	0.0993	0.111	0.0884	0.103	0.0856	0.0638	0.134	0.116	0.0972	
주변 지역	배수구합류지점	0.0924 ±0.0109	0.0957 ±0.0115	0.0690 ±0.0103	0.0449 ±0.0099	0.0781 ±0.0107	0.106 ±0.011	0.0777 ±0.0116	0.0920 ±0.0122	0.0540 ±0.0104	0.105 ±0.012	0.106 ±0.013	0.110 ±0.012	0.0859	0.0890 (0.0324 ~ 0.172)
비교 지점	연산주말농장	<0.0250	0.0339 ±0.0096	0.0293 ±0.0089	0.0339 ±0.0095	<0.0260	0.0595 ±0.0097	0.0181 ±0.0097	0.0382 ±0.0106	<0.0280	0.0553 ±0.0103	0.0611 ±0.0113	<0.0290	0.0364	0.0419 (0.0252 ~ 0.0830)
평균		0.0587	0.0648	0.0492	0.0394	0.0521	0.0828	0.0479	0.0651	0.0410	0.0803	0.0834	0.0697	0.0612	

부록 표 21. 대덕 원자력시설 주변 지표수의 방사능 농도 (감마동위원소)

(단위: Bq/L)

조사 지점	조사 핵종	2016년													연평균	평상시변동범위 (최소 ~ 최대)
		1월 (1.22)	2월 (2.24)	3월 (3.23)	4월 (4.22)	5월 (5.19)	6월 (6.22)	7월 (7.22)	8월 (8.29)	9월 (9.23)	10월 (10.25)	11월 (11.23)	12월 (12.21)			
부 지 내	덕 진 소 류 지	¹³⁴ Cs	<0.00291	<0.00358	<0.00383	<0.00286	<0.00304	<0.00388	<0.00493	<0.00443	<0.00290	<0.00290	<0.00371	<0.00406		<0.000843
		¹³⁷ Cs	<0.00316	<0.00374	<0.00297	<0.00344	<0.00280	<0.00589	<0.00312	<0.00817	<0.00189	<0.00181	<0.00400	<0.00371		<0.000973
		¹³¹ I	<0.00376	<0.00387	<0.00504	<0.00410	<0.00796	<0.00771	<0.00647	<0.00894	<0.00395	<0.00434	<0.00365	<0.00310		<0.00111
		⁶⁰ Co	<0.00401	<0.00357	<0.00483	<0.00397	<0.00360	<0.00265	<0.00331	<0.00432	<0.00371	<0.00306	<0.00233	<0.00381		<0.00109
		⁵¹ Cr	<0.0240	<0.0285	<0.0357	<0.0385	<0.0436	<0.0434	<0.0441	<0.0610	<0.0230	<0.0200	<0.0285	<0.0291		<0.00476
		⁵⁹ Fe	<0.00906	<0.00764	<0.00888	<0.00747	<0.00877	<0.00956	<0.00523	<0.00580	<0.00583	<0.00455	<0.00462	<0.00804		<0.00123
		⁵⁴ Mn	<0.00324	<0.00297	<0.00314	<0.00382	<0.00344	<0.00211	<0.00494	<0.00783	<0.00293	<0.00312	<0.00324	<0.00495		<0.000871
	⁴⁰ K	<0.0898	<0.100	<0.102	<0.105	<0.0989	<0.110	<0.116	<0.118	<0.103	<0.103	<0.107	<0.101		0.0842 (<0.0249 ~ 0.217)	
	오 폐 수 처 리 장 앞	¹³⁴ Cs	<0.00233	<0.00260	<0.00280	<0.00475	<0.00360	<0.00383	<0.00399	<0.00298	<0.00289	<0.00396	<0.00374	<0.00275		<0.000908
		¹³⁷ Cs	<0.00335	<0.00431	<0.00303	<0.00288	<0.00315	<0.00343	<0.00414	<0.00402	<0.00407	<0.00403	<0.00311	<0.00313		<0.00105
		¹³¹ I	<0.00434	<0.00344	<0.00316	<0.00997	<0.00924	<0.00524	<0.00550	<0.00389	<0.00547	<0.00321	<0.00388	<0.00448		0.00641 (<0.00126 ~ 0.0744)
		⁶⁰ Co	<0.00171	<0.00347	<0.00393	<0.00518	<0.00302	<0.00377	<0.00487	<0.00402	<0.00331	<0.00432	<0.00423	<0.00198		<0.00112
		⁵¹ Cr	<0.0265	<0.0214	<0.0304	<0.0426	<0.0247	<0.0358	<0.0292	<0.0315	<0.0289	<0.0288	<0.0304	<0.0269		<0.00717
		⁵⁹ Fe	<0.00681	<0.00716	<0.00794	<0.00718	<0.00735	<0.00787	<0.00987	<0.00467	<0.00707	<0.00912	<0.00743	<0.00607		<0.00140
⁵⁴ Mn		<0.00363	<0.00392	<0.00425	<0.00252	<0.00381	<0.00330	<0.00373	<0.00390	<0.00302	<0.00446	<0.00318	<0.00308		<0.000694	
⁴⁰ K	0.176 ±0.051	0.292 ±0.063	0.219 ±0.064	<0.166	<0.105	<0.109	0.253 ±0.063	<0.103	0.238 ±0.057	<0.0958	0.245 ±0.059	0.219 ±0.051	0.185		0.152 (<0.0364 ~ 0.154)	

부록 표 21. <계속>

(단위: Bq/L)

조사 지점	조사 핵종	2016년												연평균	평상시변동범위 (최소 ~ 최대)	
		1월 (1.22)	2월 (2.24)	3월 (3.23)	4월 (4.22)	5월 (5.19)	6월 (6.22)	7월 (7.22)	8월 (8.29)	9월 (9.23)	10월 (10.25)	11월 (11.23)	12월 (12.21)			
부 지 내	정 민 앞 배 수 구	¹³⁴ Cs	<0.00331	<0.00317	<0.00367	<0.00283	<0.00236	<0.00371	<0.00278	<0.00401	<0.00275	<0.00298	<0.00338	<0.00328		<0.000784
		¹³⁷ Cs	<0.00377	<0.00310	<0.00358	<0.00299	<0.00600	<0.00312	<0.00296	<0.00401	<0.00273	<0.00398	<0.00329	<0.00351		<0.000915
		¹³¹ I	<0.00511	<0.00421	<0.00425	<0.00532	<0.0140	<0.00930	<0.00788	<0.00329	<0.00378	<0.00387	<0.00479	<0.00675		<0.00101
		⁶⁰ Co	<0.00319	<0.00304	<0.00319	<0.00246	<0.00403	<0.00310	<0.00411	<0.00299	<0.00290	<0.00399	<0.00387	<0.00376		<0.000757
		⁵¹ Cr	<0.0361	<0.0238	<0.0193	<0.0260	<0.0387	<0.0509	<0.0386	<0.0285	<0.0138	<0.0269	<0.0329	<0.0309		<0.00464
		⁵⁹ Fe	<0.00748	<0.00763	<0.00333	<0.00422	<0.00938	<0.00563	<0.00869	<0.00647	<0.00548	<0.00622	<0.00782	<0.00943		<0.000918
		⁵⁴ Mn	<0.00263	<0.00280	<0.00389	<0.00186	<0.00375	<0.00502	<0.00352	<0.00359	<0.00204	<0.00287	<0.00320	<0.00354		<0.000931
	⁴⁰ K	<0.0966	<0.108	<0.0956	<0.108	<0.109	<0.112	<0.107	<0.0862	<0.0848	<0.102	0.315 ±0.057	<0.107	0.119	0.108 (<0.0283 ~ 0.381)	
	본 관 동 편 배 수 구	¹³⁴ Cs	<0.00351	<0.00356	<0.00331	<0.00292	<0.00364	<0.00344	<0.00235	<0.00285	<0.00457	<0.00285	<0.00498	<0.00238		<0.000907
		¹³⁷ Cs	<0.00434	<0.00555	<0.00524	<0.00398	<0.00400	<0.00225	<0.00334	<0.00309	<0.00757	<0.00317	<0.00589	<0.00263		<0.000640
		¹³¹ I	<0.00490	<0.00616	<0.00428	<0.00319	<0.00974	<0.00467	<0.00359	<0.00311	<0.00834	<0.00303	<0.00436	<0.00598		0.00507 (<0.00114 ~ 0.0358)
		⁶⁰ Co	<0.00445	<0.00300	<0.00267	<0.00417	<0.00293	<0.00308	<0.00233	<0.00403	<0.00368	<0.00149	<0.00708	<0.00319		<0.000541
		⁵¹ Cr	<0.0226	<0.0469	<0.0299	<0.0195	<0.0432	<0.0270	<0.0239	<0.0281	<0.0556	<0.0195	<0.0538	<0.0280		<0.00637
		⁵⁹ Fe	<0.00776	<0.00437	<0.00747	<0.00382	<0.00493	<0.00781	<0.00633	<0.00662	<0.0133	<0.00721	<0.00943	<0.00675		<0.000966
⁵⁴ Mn		<0.00196	<0.00211	<0.00302	<0.00278	<0.00307	<0.00294	<0.00241	<0.00319	<0.00605	<0.00175	<0.00735	<0.00262		<0.00104	
⁴⁰ K	<0.104	<0.119	<0.0980	<0.104	<0.105	<0.104	0.436 ±0.062	<0.105	<0.113	<0.0841	<0.111	<0.0805	0.130	0.102 (<0.0279 ~ 0.314)		

부록 표 21. <계속>

(단위: Bq/L)

조사 지점	조사 핵종	2016년												연평균	평상시변동범위 (최소 ~ 최대)	
		1월 (1.22)	2월 (2.24)	3월 (3.23)	4월 (4.22)	5월 (5.19)	6월 (6.22)	7월 (7.22)	8월 (8.29)	9월 (9.23)	10월 (10.25)	11월 (11.23)	12월 (12.21)			
주변 지역	배수구 합류 지점	¹³⁴ Cs	<0.00282	<0.00282	<0.00401	<0.00283	<0.00182	<0.00461	<0.00296	<0.00357	<0.00319	<0.00376	<0.00350	<0.00302		<0.00100
		¹³⁷ Cs	<0.00274	<0.00240	<0.00375	<0.00207	<0.00287	<0.00519	<0.00578	<0.00405	<0.00403	<0.00236	<0.00315	<0.00395		<0.000599
		¹³¹ I	<0.00491	<0.00442	<0.00496	<0.00472	<0.00535	<0.0102	<0.00619	<0.00427	<0.00548	<0.00295	<0.00247	<0.00773		0.00692 (<0.000739 ~ 0.0968)
		⁶⁰ Co	<0.00347	<0.00306	<0.00264	<0.00438	<0.00243	<0.00546	<0.00446	<0.00369	<0.00396	<0.00348	<0.00353	<0.00191		<0.00110
		⁵¹ Cr	<0.0290	<0.0218	<0.0414	<0.0349	<0.0261	<0.0427	<0.0382	<0.0283	<0.0301	<0.0336	<0.0286	<0.0329		<0.00584
		⁵⁹ Fe	<0.00554	<0.00813	<0.0101	<0.00482	<0.00665	<0.0114	<0.00883	<0.00421	<0.00722	<0.00488	<0.00313	<0.00720		<0.00121
		⁵⁴ Mn	<0.00340	<0.00268	<0.00286	<0.00395	<0.00390	<0.00382	<0.00395	<0.00286	<0.00491	<0.00351	<0.00385	<0.00435		<0.000712
		⁴⁰ K	<0.111	<0.0963	<0.118	<0.0964	<0.101	<0.120	<0.111	<0.109	<0.0935	0.312 ±0.064	<0.0983	<0.0982	0.122	0.0948 (<0.0340 ~ 0.239)
비교 지점	연산주말 야장	¹³⁴ Cs	<0.00326	<0.00296	<0.00249	<0.00368	<0.00352	<0.00273	<0.00370	<0.00345	<0.00291	<0.00355	<0.00257	<0.00335		<0.000795
		¹³⁷ Cs	<0.00174	<0.00258	<0.00305	<0.00501	<0.00311	<0.00394	<0.00379	<0.00478	<0.00449	<0.00522	<0.00442	<0.00336		<0.000607
		¹³¹ I	<0.00392	<0.00224	<0.00401	<0.00806	<0.00771	<0.00557	<0.00724	<0.00659	<0.00502	<0.00719	<0.00466	<0.00466		<0.00125
		⁶⁰ Co	<0.00239	<0.00344	<0.00319	<0.00257	<0.00274	<0.00431	<0.00510	<0.00517	<0.00334	<0.00610	<0.00335	<0.00447		<0.000741
		⁵¹ Cr	<0.0323	<0.0214	<0.0234	<0.0371	<0.0240	<0.0332	<0.0402	<0.0365	<0.0208	<0.0620	<0.0155	<0.0254		<0.00773
		⁵⁹ Fe	<0.00715	<0.00300	<0.00627	<0.00697	<0.00504	<0.00795	<0.0110	<0.00701	<0.00772	<0.0119	<0.00724	<0.00846		<0.00104
		⁵⁴ Mn	<0.00342	<0.00306	<0.00207	<0.00436	<0.00270	<0.00323	<0.00304	<0.00317	<0.00360	<0.00327	<0.00285	<0.00390		<0.000646
		⁴⁰ K	<0.103	<0.0842	<0.0816	<0.0917	<0.132	<0.106	<0.113	<0.0887	0.234 ±0.064	<0.113	<0.0860	<0.108	0.112	0.0899 (<0.0299 ~ 0.211)

부록 표 22. 대덕 원자력시설 주변 지하수의 방사능 농도 (우리농)

(단위: mBq/L)

조사 지점	조사 핵종	2016년					정상시변동범위 (최소 ~ 최대)
		1/4분기 (3.3)	2/4분기 (6.3)	3/4분기 (9.2)	4/4분기 (12.2)	연평균	
부지내	보덕샘						
	²³⁸ U	1,810±30	2,070±30	1,930±20	1,840±30	1,910	1,540 (1,080 ~ 2,090)
	²³⁵ U	97.8±3.0	97.8±2.9	77.6±2.2	77.3±2.5	87.6	81.0 (44.7 ~ 136)
	²³⁴ U	2,140±30	2,430±30	2,300±30	2,200±30	2,270	1,850 (1,320 ~ 2,550)
비교지점	연산주말농장						
	²³⁸ U	7.79±0.61	9.32±0.22	9.15±0.19	8.92±0.21	8.80	2.51 (0.882 ~ 7.67)
	²³⁵ U	0.338±0.109	0.459±0.034	0.351±0.032	0.380±0.034	0.382	0.123 (0.0592~ 0.292)
	²³⁴ U	9.68±0.72	11.8±0.3	11.2±0.2	11.0±0.2	10.9	3.09 (0.948 ~ 9.23)

부록 표 23. 대덕 원자력시설 주변 지하수의 방사능 농도 (삼중수소)

(단위: Bq/L)

조사 지점		2016년					정상시변동범위 (최소 ~ 최대)
		1/4분기 (3.3)	2/4분기 (6.3)	3/4분기 (9.2)	4/4분기 (12.2)	연평균	
부지내	보덕샘	<1.69	<1.64	<1.68	<1.76		<1.59
주변 지역	동화울	<1.69	<1.64	<1.68	<1.76		<1.59
비교 지점	연산주말농장	<1.69	<1.64	<1.68	<1.76		<1.59
평균							

부록 표 24. 대덕원자력시설 주변 지하수의 방사능 농도 (감마동위원소)

(단위: Bq/L)

조사 지점	조사 핵종	2016년					평상시변동범위 (최소 ~ 최대)	
		1/4분기 (3.3)	2/4분기 (6.3)	3/4분기 (9.2)	4/4분기 (12.2)	연평균		
부지내	보덕샘	¹³⁴ Cs	<0.00379	<0.00281	<0.00343	<0.00469		<0.000827
		¹³⁷ Cs	<0.00305	<0.00311	<0.00481	<0.00508		<0.000957
		¹³¹ I	<0.00602	<0.00552	<0.00503	<0.0229		<0.000744
		⁶⁰ Co	<0.00355	<0.00284	<0.00440	<0.00227		<0.000767
		⁵¹ Cr	<0.0322	<0.0280	<0.0270	<0.0538		<0.00837
		⁵⁹ Fe	<0.00607	<0.00559	<0.00933	<0.0109		<0.00102
		⁵⁴ Mn	<0.00329	<0.00204	<0.00506	<0.00455		<0.00116
		⁴⁰ K	<0.0973	<0.0989	<0.0911	<0.112		<0.0285
주변지역	동화물	¹³⁴ Cs	<0.00274	<0.00262	<0.00405	<0.00476		<0.00106
		¹³⁷ Cs	<0.00304	<0.00471	<0.00612	<0.00606		<0.000681
		¹³¹ I	<0.00378	<0.0101	<0.0112	<0.0230		<0.00120
		⁶⁰ Co	<0.00354	<0.00431	<0.00405	<0.00397		<0.00102
		⁵¹ Cr	<0.0301	<0.0468	<0.0637	<0.0645		<0.00689
		⁵⁹ Fe	<0.00389	<0.00985	<0.0132	<0.0119		<0.00222
		⁵⁴ Mn	<0.00244	<0.00388	<0.00639	<0.00366		<0.00125
		⁴⁰ K	<0.0967	<0.107	<0.122	<0.119		0.126 (<0.0501 ~ 0.411)
비교지점	연산주말농장	¹³⁴ Cs	<0.00430	<0.00391	<0.00275	<0.00493		<0.00116
		¹³⁷ Cs	<0.00437	<0.00381	<0.00202	<0.00582		<0.00119
		¹³¹ I	<0.00954	<0.00672	<0.00332	<0.0279		<0.00180
		⁶⁰ Co	<0.00315	<0.00219	<0.00251	<0.00503		<0.00113
		⁵¹ Cr	<0.0356	<0.0304	<0.0140	<0.0500		<0.00985
		⁵⁹ Fe	<0.00994	<0.00880	<0.00371	<0.0123		<0.00177
		⁵⁴ Mn	<0.00395	<0.00460	<0.00255	<0.00545		<0.00108
		⁴⁰ K	<0.114	<0.0953	<0.0788	<0.110		<0.0389

부록 표 25. 대덕 원자력시설 주변 농산물(배추)의 방사능 농도 (스트론튬-90)

(단위: Bq/kg-fresh)

조사 지점		2016년 수확기(11.4)	정상시변동범위 (최소 ~ 최대)
주변 지역	동화울	<0.0119	0.0229 (<0.0148 - 0.0270)
	구즉초등학교	<0.0109(0.0119±0.0068)	0.0218 (<0.0140 - 0.0320)
비교 지점	연서면 주민센터	<0.0109(0.0111±0.0068)	0.0191 (<0.0160 - 0.0230)
	연산주말농장	<0.0128	0.0176 (<0.0100 - 0.0228)
평균			

부록 표 26. 대덕 원자력시설 주변 농산물(배추)의 방사능 농도 (삼중수소(TFWT))

(단위: Bq/kg-fresh)

조사 지점		2016년 수확기(11.4)	정상시변동범위 (최소 ~ 최대)
주변 지역	동화울	<1.67	<1.59
	구즉초등학교	<1.59	<1.56
비교 지점	연서면 주민센터	<1.63	<1.55
	연산주말농장	<1.61	<1.58
평균			

부록 표 27. 대덕 원자력시설 주변 농산물의 방사능 농도 (감마동위원소)

(단위: Bq/kg-fresh)

조사 지점	조사 핵종	2016년				
		배추(11.4)	평상시변동범위 (최소 ~ 최대)	쌀(11.3)	평상시변동범위 (최소 ~ 최대)	
주 변 지 역	동 화 평	¹³⁴ Cs	<0.0481	<0.00690	<0.0561	<0.0185
		¹³⁷ Cs	<0.0472	<0.00817	<0.0868	<0.0286
		¹³¹ I	<0.0541	<0.0237	<0.103	<0.0564
		⁶⁰ Co	<0.0647	<0.0139	<0.0554	<0.0295
		⁵¹ Cr	<0.362	<0.0864	<0.707	<0.201
		⁵⁹ Fe	<0.151	<0.0394	<0.200	<0.0552
		⁵⁴ Mn	<0.0560	<0.00965	<0.0887	<0.0273
	⁴⁰ K	101±3	96.2 (89.4 ~ 103)	42.2±2.2	33.0 (23.5 ~ 40.9)	
	야 외 관 내	¹³⁴ Cs	<0.0452	<0.00582	<0.0682	<0.0188
		¹³⁷ Cs	<0.0577	<0.00935	<0.0617	<0.0199
		¹³¹ I	<0.0905	<0.0210	<0.104	<0.0544
		⁶⁰ Co	<0.0802	<0.0111	<0.0617	<0.0267
		⁵¹ Cr	<0.329	<0.0658	<0.534	<0.151
		⁵⁹ Fe	<0.152	<0.0236	<0.182	<0.0637
⁵⁴ Mn		<0.0653	<0.00851	<0.0622	<0.0130	
⁴⁰ K	106±4	81.6 (77.6 ~ 85.6)	32.5±2.0	26.3 (15.7 ~ 33.5)		
비 교 지 점	연 서 면 주 민 센 터	¹³⁴ Cs	<0.0386	<0.00678	<0.0847	<0.0230
		¹³⁷ Cs	<0.0426	<0.00891	<0.101	<0.0289
		¹³¹ I	<0.0808	<0.0260	<0.178	<0.0529
		⁶⁰ Co	<0.0523	<0.00908	<0.0945	<0.0321
		⁵¹ Cr	<0.347	<0.0982	<0.712	<0.226
		⁵⁹ Fe	<0.0867	<0.0269	<0.242	<0.0750
		⁵⁴ Mn	<0.0565	<0.0109	<0.118	<0.0213
	⁴⁰ K	77.7±2.6	86.0 (61.6 ~ 110)	32.2±2.3	26.4 (18.2 ~ 35.1)	
	연 산 주 말 농 장	¹³⁴ Cs	<0.0638	<0.00760	<0.0674	<0.0187
		¹³⁷ Cs	<0.0400	<0.00913	<0.0547	<0.0305
		¹³¹ I	<0.0893	<0.0281	<0.103	<0.0656
		⁶⁰ Co	<0.0620	<0.00970	<0.0691	<0.0410
		⁵¹ Cr	<0.430	<0.0405	<0.898	<0.189
		⁵⁹ Fe	<0.173	<0.0315	<0.266	<0.0586
⁵⁴ Mn		<0.109	<0.00975	<0.109	<0.0223	
⁴⁰ K	79.5±3.3	81.9 (71.5 ~ 92.3)	26.9±1.8	25.2 (15.3 ~ 36.8)		

부록 표 28. 대덕원자력시설 주변 축산물(가금류)의 방사능 농도 (감마동위원소)

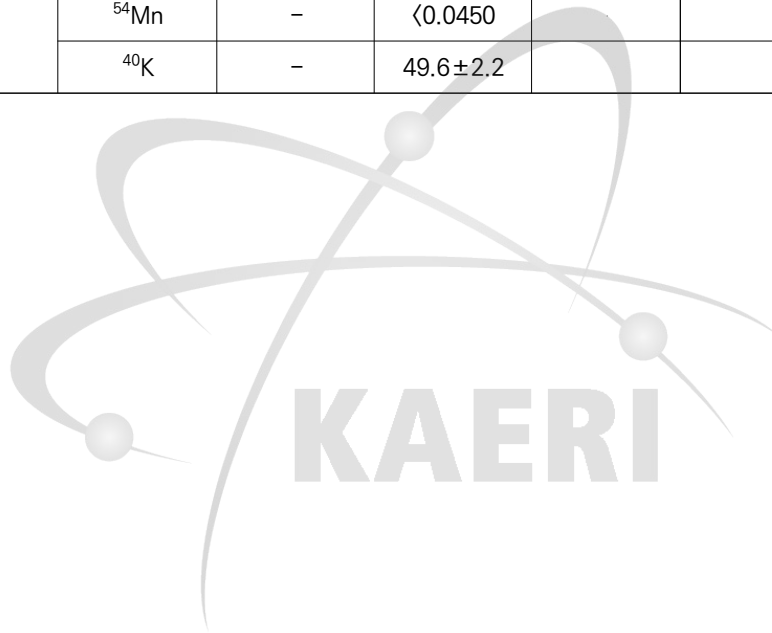
(단위: Bq/kg-fresh)

조사 지점	조사 핵종	2016년			정상시변동범위 (최소 ~ 최대)	
		상반기(3.9)	하반기(9.7)	연평균		
주변 지역	안산동	¹³⁴ Cs	<0.0438	<0.0319	-	<0.0186
		¹³⁷ Cs	<0.0402	<0.0426	-	<0.0295
		¹³¹ I	<0.0924	<0.129	-	<0.0367
		⁶⁰ Co	<0.0700	<0.0387	-	<0.0224
		⁵¹ Cr	<0.466	<0.375	-	<0.224
		⁵⁹ Fe	<0.159	<0.136	-	<0.0590
		⁵⁴ Mn	<0.0582	<0.0430	-	<0.0216
		⁴⁰ K	83.4±3.2	79.2±2.6	81.3	64.7 (55.8 ~ 74.3)
비교 지점	연서면 주민센터	¹³⁴ Cs	<0.0646	<0.0341	-	<0.0153
		¹³⁷ Cs	<0.0683	<0.0472	-	<0.0240
		¹³¹ I	<0.103	<0.123	-	<0.0252
		⁶⁰ Co	<0.0472	<0.0416	-	<0.0200
		⁵¹ Cr	<0.592	<0.330	-	<0.141
		⁵⁹ Fe	<0.137	<0.106	-	<0.0494
		⁵⁴ Mn	<0.0465	<0.0363	-	<0.0179
		⁴⁰ K	82.3±3.3	70.9±2.4	76.6	73.5 (48.0 ~ 92.7)

부록 표 29. 대덕원자력시설 주변 축산물(우유)의 방사능 농도 (감마동위원소)

(단위: Bq/L)

조사 지점	조사 핵종	2016년			평상시변동범위 (최소 ~ 최대)
		상반기	하반기(9.29)	연평균	
주변 지역 영대목장	¹³⁴ Cs	-	<0.0573	-	-
	¹³⁷ Cs	-	<0.0677	-	-
	¹³¹ I	-	<0.0621	-	-
	⁶⁰ Co	-	<0.0546	-	-
	⁵¹ Cr	-	<0.312	-	-
	⁵⁹ Fe	-	<0.0994	-	-
	⁵⁴ Mn	-	<0.0450	-	-
	⁴⁰ K	-	49.6±2.2	-	-



부록 표 30. TRIGA 연구로시설 주변 공간감마선량률 (환경방사선감시기)

(단위: nGy/h)

조사 지점	2016년													정상시변동범위 (최소 ~ 최대)	
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	연평균		
부 지 내	2호기(MW) 동쪽	120±2	119±4	119±4	122±4	123±9	121±8	123±4	126±5	125±2	124±3	123±2	124±4	122	115 (93 ~ 127)
	2호기(MW) 서쪽	108±3	107±4	107±4	108±4	108±5	109±6	109±6	110±5	110±2	110±3	109±2	109±4	108	114 (102 ~ 128)
	1호기(KW) 서쪽	117±2	117±3	117±3	118±4	118±5	121±8	121±5	124±5	124±3	122±4	120±2	119±5	120	120 (111 ~ 125)
평균		115	114	114	116	116	117	117	120	120	119	117	117	117	

부록 표 31. TRIGA 연구로시설 주변 집적선량 (열형광선량계)

(단위: $\mu\text{Gy}/\text{분기}$)

조사 지점		2016년					평상시변동범위 (최소 ~ 최대)
		1/4분기	2/4분기	3/4분기	4/4분기	연평균	
부 지 내	1호기(KW) 동쪽	225±5	243±2	232±7	243±25	236	249 (215 ~ 282)
	1호기(KW) 서쪽	197±5	214±10	218±8	232±11	216	233 (206 ~ 266)
	2호기(MW) 동쪽	274±3	280±7	235±6	233±8	256	266 (212 ~ 310)
	2호기(MW) 서쪽	165±6	162±7	175±12	178±5	170	186 (158 ~ 226)
	보일러건물	225±9	238±3	228±9	254±12	236	248 (223 ~ 287)
	(구)폐기물건물	218±8	225±3	226±9	242±8	228	243 (213 ~ 293)
	(구) 정문	203±6	210±6	214±9	225±7	213	224 (193 ~ 245)
	(구)물리동	240±5	249±7	248±5	261±6	249	259 (231 ~ 290)
	한전기숙사남쪽	201±4	217±10	220±5	233±5	218	221 (192 ~ 249)
평균		216	226	222	233	225	
주 변 지 역	원자력의학원 앞	260±4	269±14	263±17	270±12	265	281 (258 ~ 315)
	원자력의학원 옆	*	213±5	199±2	212±2	208	231 (210 ~ 262)
	서울과학기술대학 연못	219±3	241±3	220±8	232±8	228	240 (209 ~ 266)
	서울여자대학교	201±6	207±6	207±6	222±6	209	226 (177 ~ 267)
	삼육대학	189±4	198±2	199±3	217±4	201	216 (189 ~ 235)
	인덕전문대학	240±8	241±10	245±5	254±3	245	259 (230 ~ 285)
	태능중학교	236±4	252±5	250±1	253±7	248	254 (228 ~ 283)
	공릉중학교	213±2	213±6	213±0	222±9	215	227 (191 ~ 257)
	광운대학교	252±5	250±2	247±8	271±7	255	256 (213 ~ 290)
평균		226	232	227	239	230	

* 시료분실.

부록 표 32. TRIGA 연구로시설 주변 공기 중 미립자의 방사능 농도 (전베타)

(단위: mBq/m³)

조사 지점		2016년												연평균	평상시변동범위 (최소 ~ 최대)
		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월		
부 지 내	2호기(MW) 앞	1.73 ±0.01	1.49 ±0.02	1.51 ±0.02	0.957 ±0.012	0.897 ±0.013	0.913 ±0.013	0.661 ±0.010	1.21 ±0.01	1.20 ±0.01	1.29 ±0.01	1.62 ±0.02	2.04 ±0.02	1.29	1.16 (0.425 ~ 2.30)
	2호기(MW) 뒤	1.65 ±0.01	1.35 ±0.01	1.45 ±0.02	0.915 ±0.011	0.841 ±0.012	0.744 ±0.012	0.482 ±0.011	0.986 ±0.013	0.898 ±0.013	1.22 ±0.01	1.58 ±0.02	1.95 ±0.02	1.17	1.13 (0.400 ~ 2.13)
	1호기(KW) 앞	1.76 ±0.01	1.49 ±0.02	1.45 ±0.02	1.01 ±0.01	0.900 ±0.013	0.937 ±0.013	0.619 ±0.010	1.08 ±0.01	1.11 ±0.01	1.36 ±0.02	1.79 ±0.02	2.10 ±0.02	1.30	1.23 (0.448 ~ 2.55)
평균		1.71	1.44	1.47	0.961	0.879	0.865	0.587	1.09	1.07	1.29	1.66	2.03	1.25	
비교 지점	한전기계실 옆	1.69 ±0.01	1.31 ±0.01	1.37 ±0.02	0.906 ±0.011	0.869 ±0.013	0.863 ±0.013	0.551 ±0.010	1.09 ±0.01	1.15 ±0.01	1.32 ±0.01	1.66 ±0.02	1.62 ±0.02	1.20	1.19 (0.468 ~ 2.35)

부록 표 33. TRIGA 연구로시설 주변 공기 중 미립자의 방사능 농도 (감마동위원소)

(단위: mBq/m³)

조사 지점	조사 핵종	2016년													연평균	정상시변동범위 (최소 ~ 최대)
		1월 (2.1)	2월 (2.29)	3월 (3.28)	4월 (5.2)	5월 (5.30)	6월 (6.27)	7월 (8.1)	8월 (8.29)	9월 (10.3)	10월 (10.31)	11월 (11.28)	12월 (1.2)			
부 지 내 (M W) 앞	¹³⁴ Cs	<0.0126	<0.00687	<0.0164	<0.0102	<0.00802	<0.0135	<0.00557	<0.00695	<0.00518	<0.00768	<0.00775	<0.00650		<0.00189	
	¹³⁷ Cs	<0.00834	<0.00814	<0.0129	<0.0128	<0.00979	<0.0150	<0.00728	<0.00772	<0.00937	<0.00855	<0.00834	<0.00856		<0.00149	
	¹³¹ I	<0.104	<0.0487	<0.0862	<0.0749	<0.0513	<0.124	<0.0322	<0.0662	<0.0874	<0.0490	<0.0737	<0.0433		<0.0140	
	⁶⁰ Co	<0.00661	<0.00528	<0.00983	<0.00940	<0.0147	<0.00345	<0.00700	<0.00651	<0.00668	<0.0108	<0.0126	<0.00721		<0.00275	
	⁵¹ Cr	<0.174	<0.0984	<0.236	<0.162	<0.0710	<0.197	<0.0770	<0.0878	<0.0884	<0.112	<0.111	<0.0806		<0.0186	
	⁵⁹ Fe	<0.0285	<0.0151	<0.0444	<0.0343	<0.0272	<0.0313	<0.0177	<0.0108	<0.0212	<0.0191	<0.0306	<0.0235		<0.00635	
	⁵⁴ Mn	<0.0101	<0.00881	<0.0121	<0.00960	<0.0113	<0.0192	<0.00687	<0.00939	<0.00792	<0.00781	<0.0103	<0.00840		<0.00280	
	²² Na	<0.00990	<0.00994	<0.00865	<0.0104	<0.00804	<0.0139	<0.00423	<0.00666	<0.00402	<0.00556	<0.0110	<0.00871		<0.00243	
	¹⁵² Eu	<0.0155	<0.0151	<0.0221	<0.0155	<0.0184	<0.0228	<0.0118	<0.0101	<0.00890	<0.0179	<0.0144	<0.0120		<0.00318	
	¹⁵⁴ Eu	<0.0109	<0.00875	<0.0185	<0.0145	<0.0141	<0.0173	<0.00890	<0.0106	<0.00705	<0.0134	<0.00982	<0.00869		<0.00226	
	⁷ Be	4.71±0.25	5.51±0.24	7.50±0.42	5.82±0.27	7.10±0.27	5.30±0.38	3.06±0.14	4.88±0.21	5.35±0.22	6.02±0.24	6.37±0.25	5.57±0.23	5.60	4.51(1.95~6.85)	
부 지 내 (M W) 뒤	¹³⁴ Cs	<0.00550	<0.00797	<0.00752	<0.00636	<0.00980	<0.00706	<0.0121	<0.0171	<0.0135	<0.00731	<0.00658	<0.00652		<0.00214	
	¹³⁷ Cs	<0.00785	<0.00882	<0.00656	<0.00629	<0.0103	<0.00849	<0.0108	<0.0173	<0.0110	<0.0110	<0.00487	<0.00829		<0.00226	
	¹³¹ I	<0.0416	<0.0331	<0.0357	<0.0298	<0.0542	<0.0608	<0.0906	<0.122	<0.193	<0.0334	<0.0825	<0.0681		<0.00691	
	⁶⁰ Co	<0.00710	<0.0123	<0.00947	<0.00579	<0.0122	<0.00806	<0.00660	<0.0160	<0.0121	<0.0105	<0.0118	<0.00370		<0.00255	
	⁵¹ Cr	<0.0767	<0.111	<0.0902	<0.0820	<0.0777	<0.0976	<0.188	<0.239	<0.248	<0.116	<0.128	<0.0647		<0.0158	
	⁵⁹ Fe	<0.0222	<0.0232	<0.0228	<0.0184	<0.0155	<0.0188	<0.0392	<0.0516	<0.0483	<0.0270	<0.0267	<0.0215		<0.00381	
	⁵⁴ Mn	<0.00733	<0.0116	<0.00755	<0.00450	<0.0115	<0.0122	<0.00828	<0.0178	<0.0139	<0.0110	<0.00848	<0.00771		<0.00236	
	²² Na	<0.00833	<0.00870	<0.00923	<0.00629	<0.00830	<0.0137	<0.0106	<0.0125	<0.00765	<0.0105	<0.0141	<0.00706		<0.00225	
	¹⁵² Eu	<0.0106	<0.0191	<0.0178	<0.00978	<0.0139	<0.0104	<0.0224	<0.0230	<0.0159	<0.0125	<0.0111	<0.0104		<0.00396	
	¹⁵⁴ Eu	<0.00867	<0.0128	<0.0124	<0.00988	<0.0116	<0.00795	<0.0148	<0.0137	<0.0135	<0.0119	<0.00987	<0.00797		<0.00227	
	⁷ Be	4.24±0.18	4.88±0.21	6.17±0.24	5.61±0.21	6.46±0.28	3.94±0.18	2.60±0.20	3.76±0.27	4.87±0.30	5.44±0.24	6.04±0.25	4.96±0.21	4.91	4.67(2.05~19.7)	

부록 표 33. <계속>

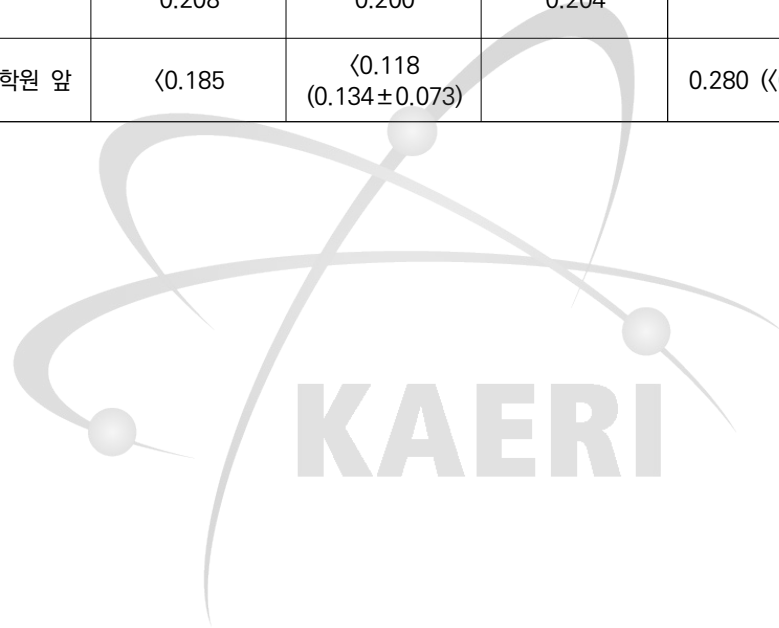
(단위: mBq/m³)

조사 지점	조사 핵종	2016년													연평균	정상시변동범위 (최소 ~ 최대)
		1월 (2.1)	2월 (2.29)	3월 (3.28)	4월 (5.2)	5월 (5.30)	6월 (6.27)	7월 (8.1)	8월 (8.29)	9월 (10.3)	10월 (10.31)	11월 (11.28)	12월 (1.2)			
부 지 내	1 호 기 (K W) 앞	¹³⁴ Cs	<0.00877	<0.00675	<0.0103	<0.00805	<0.00750	<0.00738	<0.00731	<0.00796	<0.0132	<0.00673	<0.0168	<0.0141		<0.00143
	¹³⁷ Cs	<0.00974	<0.00898	<0.0105	<0.00854	<0.00590	<0.00565	<0.00539	<0.00769	<0.0114	<0.00457	<0.0167	<0.0156		<0.00233	
	¹³¹ I	<0.0835	<0.0383	<0.0686	<0.0542	<0.0353	<0.0913	<0.0408	<0.0782	<0.101	<0.0306	<0.153	<0.162		<0.00732	
	⁶⁰ Co	<0.00840	<0.0102	<0.0100	<0.00933	<0.00435	<0.00823	<0.00795	<0.00869	<0.0121	<0.00556	<0.0180	<0.0162		<0.00243	
	⁵¹ Cr	<0.110	<0.0762	<0.147	<0.113	<0.0917	<0.104	<0.0819	<0.112	<0.235	<0.0978	<0.290	<0.189		<0.0215	
	⁵⁹ Fe	<0.0211	<0.0272	<0.0297	<0.0238	<0.0221	<0.0207	<0.0200	<0.0246	<0.0296	<0.0228	<0.0544	<0.0418		<0.00610	
	⁵⁴ Mn	<0.00765	<0.00824	<0.0119	<0.00864	<0.00638	<0.00947	<0.00744	<0.00779	<0.0103	<0.00903	<0.0168	<0.0131		<0.00192	
	²² Na	<0.00658	<0.0135	<0.0122	<0.00928	<0.0126	<0.0117	<0.00703	<0.0107	<0.00662	<0.0124	<0.0119	<0.0161		<0.00218	
	¹⁵² Eu	<0.0113	<0.0153	<0.0183	<0.0150	<0.0119	<0.0113	<0.0108	<0.0136	<0.0199	<0.0140	<0.0264	<0.0202		<0.00270	
	¹⁵⁴ Eu	<0.00966	<0.00907	<0.0140	<0.00874	<0.0122	<0.00874	<0.00809	<0.00953	<0.0146	<0.0106	<0.0176	<0.0157		<0.00248	
	⁷ Be	4.40±0.22	5.01±0.22	6.92±0.29	5.95±0.23	6.47±0.23	4.48±0.20	2.75±0.15	4.29±0.21	4.98±0.29	6.36±0.24	6.64±0.34	5.30±0.27	5.30	4.21(2.07~7.29)	
비 교 지 점	한 전 기 계 실 옆	¹³⁴ Cs	<0.00799	<0.00756	<0.0100	<0.00790	<0.0151	<0.00939	<0.00585	<0.00862	<0.00648	<0.0158	<0.00573	<0.00676		<0.00190
	¹³⁷ Cs	<0.00664	<0.00828	<0.00871	<0.00827	<0.00878	<0.00672	<0.00758	<0.00944	<0.00692	<0.0147	<0.00510	<0.00854		<0.00164	
	¹³¹ I	<0.0341	<0.0233	<0.0374	<0.0273	<0.0724	<0.0576	<0.0345	<0.0708	<0.0939	<0.0730	<0.0658	<0.0493		<0.0106	
	⁶⁰ Co	<0.00482	<0.0105	<0.0111	<0.00935	<0.0156	<0.00760	<0.00530	<0.00935	<0.00589	<0.0204	<0.00718	<0.00675		<0.00296	
	⁵¹ Cr	<0.110	<0.104	<0.119	<0.136	<0.0858	<0.124	<0.0939	<0.107	<0.107	<0.185	<0.128	<0.0853		<0.0190	
	⁵⁹ Fe	<0.0165	<0.0310	<0.0281	<0.0262	<0.0352	<0.0221	<0.0174	<0.0152	<0.0302	<0.0524	<0.0149	<0.0210		<0.00399	
	⁵⁴ Mn	<0.00810	<0.0103	<0.0119	<0.00901	<0.0162	<0.00940	<0.00398	<0.00463	<0.00718	<0.0202	<0.00793	<0.00765		<0.00128	
	²² Na	<0.00907	<0.00988	<0.00829	<0.00902	<0.0139	<0.0130	<0.00576	<0.0111	<0.0106	<0.0144	<0.00893	<0.00987		<0.00201	
	¹⁵² Eu	<0.0128	<0.0151	<0.0153	<0.0120	<0.0191	<0.0198	<0.00850	<0.0137	<0.0159	<0.0249	<0.0140	<0.0140		<0.00328	
	¹⁵⁴ Eu	<0.0113	<0.00977	<0.0120	<0.00878	<0.0173	<0.0118	<0.00746	<0.0102	<0.0108	<0.0169	<0.0121	<0.00996		<0.00289	
	⁷ Be	4.44±0.20	5.07±0.22	6.47±0.28	5.97±0.23	6.47±0.39	4.61±0.22	2.74±0.15	4.39±0.21	5.49±0.23	6.00±0.31	6.15±0.24	4.52±0.18	5.19	4.19(1.86~5.81)	

부록 표 34. TRIGA 연구로 시설 주변 표층토양의 방사능 농도 (스트론튬-90)

(단위: Bq/kg-dry)

조사 지점		2016년			정상시변동범위 (최소 ~ 최대)
		상반기(3.15)	하반기(9.21)	연평균	
부 지 내	2호기(MW)동쪽	0.197±0.058	0.235±0.078	0.216	0.315 (<0.188 ~ 0.457)
	보일러건물	0.184±0.050	0.246±0.072	0.215	0.299 (<0.147 ~ 0.577)
	(구)물리동	0.242±0.060	<0.120 (0.199±0.076)	0.181	0.303 (<0.174 ~ 0.424)
평균		0.208	0.200	0.204	
비교 지점	원자력의학원 앞	<0.185	<0.118 (0.134±0.073)		0.280 (<0.152 ~ 0.467)



부록 표 35. TRIGA 연구로시설 주변 표층토양의 방사능 농도 (감마동위원소)

(단위: Bq/kg-dry)

조사 지점	조사 핵종	2016년			정상시변동범위 (최소 ~ 최대)
		상반기(3.15)	하반기(9.21)	연평균	
부 지 내	2호기 (MW) 동쪽	¹³⁴ Cs	<1.06	<0.731	<0.200
		¹³⁷ Cs	<1.42	<1.24	1.56(<0.920~2.07)
		¹³¹ I	<2.64	<1.28	<0.170
		⁶⁰ Co	<1.19	<0.910	<0.209
		⁵¹ Cr	<8.86	<4.42	<0.698
		⁵⁹ Fe	<2.43	<2.41	<0.324
		⁵⁴ Mn	<0.985	<0.959	<0.256
		²² Na	<1.21	<1.21	<0.124
		¹⁵² Eu	<2.83	<1.38	<0.400
		¹⁵⁴ Eu	<2.02	<1.00	<0.220
	⁴⁰ K	1,070±40	1,090±40	1,080	1,120(1,090~1,160)
	보일러 건물	¹³⁴ Cs	<0.651	<0.631	<0.245
		¹³⁷ Cs	<0.840	<0.886	1.20(<0.899~1.84)
		¹³¹ I	<0.752	<0.821	<0.504
		⁶⁰ Co	<0.865	<0.785	<0.378
		⁵¹ Cr	<6.71	<7.45	<2.46
		⁵⁹ Fe	<1.60	<1.38	<0.590
		⁵⁴ Mn	<0.859	<0.827	<0.303
		²² Na	<0.941	<0.812	<0.300
		¹⁵² Eu	<1.53	<1.75	<0.630
¹⁵⁴ Eu		<1.13	<1.15	<0.442	
⁴⁰ K	1,070±40	1,070±30	1,070	1,030(923~1,090)	

부록 표 35. <계속>

(단위: Bq/kg-dry)

조사 지점	조사 핵종	2016년			정상시변동범위 (최소 ~ 최대)	
		상반기(3.15)	하반기(9.21)	연평균		
부 지 내	(구) 물리동	¹³⁴ Cs	<0.711	<0.528	<0.215	
		¹³⁷ Cs	9.61±1.03	4.42±0.62	7.01	2.49(<0.334~5.56)
		¹³¹ I	<1.06	<1.10		<0.530
		⁶⁰ Co	<0.890	<0.896		<0.164
		⁵¹ Cr	<5.92	<5.80		<2.14
		⁵⁹ Fe	<1.71	<1.42		<0.680
		⁵⁴ Mn	<0.873	<0.834		<0.286
		²² Na	<0.849	<0.786		<0.343
		¹⁵² Eu	<1.47	<1.62		<0.551
		¹⁵⁴ Eu	<1.05	<1.06		<0.389
		⁴⁰ K	1,050±40	1,100±40	1,070	1,050(855~1,260)
비 교 지 점	원자력 의학원 앞	¹³⁴ Cs	<0.648	<0.631	<0.199	
		¹³⁷ Cs	<0.745	<0.773		<0.287
		¹³¹ I	<0.905	<0.765		<0.216
		⁶⁰ Co	<0.687	<0.799		<0.243
		⁵¹ Cr	<8.04	<4.31		<3.05
		⁵⁹ Fe	<1.02	<1.24		<0.486
		⁵⁴ Mn	<0.702	<0.769		<0.321
		²² Na	<0.715	<0.401		<0.233
		¹⁵² Eu	<1.27	<1.58		<0.583
		¹⁵⁴ Eu	<0.893	<1.05		<0.342
		⁴⁰ K	827±29	781±28	804	783(642~936)

부록 표 36. TRIGA 연구로시설 주변 하천토양의 방사능 농도 (감마동위원소)

(단위: Bq/kg-dry)

조사 지점	조사 핵종	2016년					평상시변동범위 (최소 ~ 최대)
		1/4분기 (3.17)	2/4분기 (6.14)	3/4분기 (9.21)	4/4분기 (12.13)	연평균	
부 지 내	(구) 정문	¹³⁴ Cs	<0.442	<0.668	<0.445	<0.546	<0.164
	¹³⁷ Cs	<0.700	<0.891	<0.636	<0.593	<0.229	
	¹³¹ I	<0.930	<1.35	<0.544	<0.934	<0.398	
	⁶⁰ Co	<0.594	<0.921	<0.576	<0.625	<0.251	
	⁵¹ Cr	<6.99	<6.93	<4.06	<5.08	<1.63	
	⁵⁹ Fe	<2.07	<2.37	<1.20	<1.35	<0.635	
	⁵⁴ Mn	<0.629	<1.07	<0.514	<0.694	<0.234	
	²² Na	<1.07	<0.532	<0.533	<0.777	<0.314	
	¹⁵² Eu	<1.68	<1.74	<0.903	<1.20	<0.414	
	¹⁵⁴ Eu	<1.23	<1.52	<0.685	<0.708	<0.324	
	⁴⁰ K	1,430±40	1,390±50	1,460±40	1,270±40	1,390	1,490 (1,440 ~ 1,610)
비 교 지 점	서울 과학 기술 대학	¹³⁴ Cs	<0.589	<0.633	<0.875	<0.604	<0.146
		¹³⁷ Cs	<0.622	<0.759	<1.14	<0.695	<0.239
		¹³¹ I	<0.699	<0.737	<1.40	<1.05	<0.393
		⁶⁰ Co	<0.793	<0.605	<0.754	<0.858	<0.146
		⁵¹ Cr	<4.50	<6.17	<5.18	<6.06	<1.35
		⁵⁹ Fe	<1.76	<1.72	<2.84	<1.32	<0.426
		⁵⁴ Mn	<0.769	<0.777	<1.01	<0.773	<0.228
		²² Na	<0.712	<0.716	<1.20	<1.02	<0.185
		¹⁵² Eu	<1.45	<1.54	<1.97	<1.26	<0.412
		¹⁵⁴ Eu	<0.957	<1.00	<1.49	<0.974	<0.267
		⁴⁰ K	1,270±40	1,300±40	1,550±50	1,380±40	1,370

부록 표 37. TRIGA 연구로시설 주변 지표수의 방사능 농도 (전베타)

(단위: Bq/L)

조사 지점		2016년												연평균	평상시변동범위 (최소 ~ 최대)
		1월 (1.15)	2월 (2.16)	3월 (3.15)	4월 (4.14)	5월 (5.18)	6월 (6.14)	7월 (7.13)	8월 (8.17)	9월 (9.21)	10월 (10.18)	11월 (11.15)	12월 (12.13)		
주변 지역	서울과학기술대 학 연못	0.159 ±0.012	0.144 ±0.013	0.149 ±0.012	0.0798 ±0.0113	0.0721 ±0.0109	0.0338 ±0.0093	0.0674 ±0.0108	0.0942 ±0.0114	0.113 ±0.012	0.297 ±0.027	0.155 ±0.014	0.129 ±0.013	0.124	0.104 (0.0460 ~ 0.272)
비교 지점	광운대학교	0.285 ±0.015	0.184 ±0.013	0.285 ±0.015	0.145 ±0.013	0.0817 ±0.0111	0.223 ±0.014	0.196 ±0.014	0.198 ±0.014	0.299 ±0.016	0.321 ±0.017	0.342 ±0.018	0.187 ±0.015	0.229	0.314 (0.0614 ~ 0.805)

부록 표 38. TRIGA 연구로시설 주변 지표수의 방사능 농도 (삼중수소)

(단위: Bq/L)

조사 지점		2016년												연평균	평상시변동범위 (최소 ~ 최대)
		1월 (1.15)	2월 (2.16)	3월 (3.15)	4월 (4.14)	5월 (5.18)	6월 (6.14)	7월 (7.13)	8월 (8.17)	9월 (9.21)	10월 (10.18)	11월 (11.15)	12월 (12.13)		
주변 지역	서울과학기술대 학 연못	<1.63	<1.76	<1.69	<1.62	<1.65	<1.64	<1.65	<1.60	<1.68	<1.66	<1.77	<1.76		<1.55
비교 지점	광운대학교	<1.63	<1.76	<1.69	<1.62	<1.65	<1.64	<1.65	<1.60	<1.68	<1.66	<1.77	<1.76		<1.55

부록 표 39. TRIGA 연구로시설 주변 지표수의 방사능 농도 (감마동위원소)

(단위: Bq/L)

조사 지점	조사 핵종	2016년												연평균	평상시 변동범위 (최소 ~ 최대)	
		1월 (1.15)	2월 (2.16)	3월 (3.15)	4월 (4.14)	5월 (5.18)	6월 (6.14)	7월 (7.13)	8월 (8.17)	9월 (9.21)	10월 (10.18)	11월 (11.15)	12월 (12.13)			
주변 지역	서울 과학 기술 대학 연못	¹³⁴ Cs	<0.00289	<0.00300	<0.00374	<0.00342	<0.00411	<0.00355	<0.00384	<0.00366	<0.00334	<0.00321	<0.00285	<0.00346		<0.000831
		¹³⁷ Cs	<0.00388	<0.00423	<0.00377	<0.00409	<0.00350	<0.00250	<0.00407	<0.00422	<0.00417	<0.00240	<0.00392	<0.00422		<0.000849
		¹³¹ I	<0.00362	<0.0433	<0.00743	<0.00472	<0.00937	<0.00873	<0.00588	<0.00648	<0.00316	<0.00657	<0.00422	<0.0109		<0.00136
		⁶⁰ Co	<0.00377	<0.00435	<0.00349	<0.00340	<0.00242	<0.00339	<0.00568	<0.00305	<0.00375	<0.00268	<0.00448	<0.00338		<0.000729
		⁵¹ Cr	<0.0253	<0.0565	<0.0315	<0.0250	<0.0426	<0.0365	<0.0467	<0.0261	<0.0315	<0.0214	<0.0221	<0.0355		<0.00490
		⁵⁹ Fe	<0.00680	<0.00898	<0.00690	<0.00340	<0.00833	<0.00632	<0.0106	<0.00710	<0.00641	<0.00663	<0.00433	<0.00712		<0.00113
		⁵⁴ Mn	<0.00307	<0.00346	<0.00335	<0.00374	<0.00337	<0.00361	<0.00347	<0.00422	<0.00230	<0.00358	<0.00306	<0.00353		<0.000577
		⁴⁰ K	<0.112	0.229 ±0.059	<0.0977	<0.106	<0.0908	<0.106	<0.119	<0.0998	<0.105	<0.100	<0.0891	<0.0951	0.113	0.110 ((0.0315 ~ 0.404))
비교 지점	광운 대학교	¹³⁴ Cs	<0.00227	<0.00365	<0.00351	<0.00365	<0.00509	<0.00377	<0.00273	<0.00340	<0.00328	<0.00284	<0.00343	<0.00368		<0.000757
		¹³⁷ Cs	<0.00293	<0.00197	<0.00250	<0.00437	<0.00433	<0.00435	<0.00306	<0.00387	<0.00425	<0.00315	<0.00405	<0.00493		<0.000919
		¹³¹ I	0.374 ±0.014	0.741 ±0.070	0.241 ±0.014	<0.00568	<0.0151	0.0345 ±0.0055	<0.00641	<0.00523	<0.00603	0.0724 ±0.0079	<0.00462	0.441 ±0.018	0.162	0.684 ((0.00632 ~ 4.25))
		⁶⁰ Co	<0.00307	<0.00270	<0.00223	<0.00422	<0.00449	<0.00337	<0.00267	<0.00333	<0.00354	<0.00349	<0.00366	<0.00337		<0.000531
		⁵¹ Cr	<0.0250	<0.0640	<0.0354	<0.0343	<0.0459	<0.0337	<0.0253	<0.0352	<0.0362	<0.0224	<0.0300	<0.0318		<0.00651
		⁵⁹ Fe	<0.00281	<0.00572	<0.00759	<0.00700	<0.00855	<0.00790	<0.00800	<0.00530	<0.00757	<0.00726	<0.00962	<0.00621		<0.00111
		⁵⁴ Mn	<0.00331	<0.00427	<0.00403	<0.00389	<0.00285	<0.00408	<0.00311	<0.00313	<0.00388	<0.00302	<0.00355	<0.00350		<0.000702
		⁴⁰ K	0.332 ±0.056	0.357 ±0.063	0.381 ±0.070	0.321 ±0.067	<0.156	0.285 ±0.068	<0.112	<0.155	<0.148	0.488 ±0.062	0.308 ±0.064	0.374 ±0.074	0.285	0.244 ((0.0304 ~ 0.588))

부록 표 40. TRIGA 연구로시설 주변 지하수의 방사능 농도 (삼중수소)

(단위: Bq/L)

조사 지점		2016년					정상시변동범위 (최소 ~ 최대)
		1/4분기 (3.15)	2/4분기 (6.14)	3/4분기 (9.21)	4/4분기 (12.13)	연평균	
부지내	보일러건물	<1.69	<1.64	<1.68	<1.76		<1.59

부록 표 41. TRIGA 연구로시설 주변 지하수의 방사능 농도 (감마동위원소)

(단위: Bq/L)

조사 지점	조사 핵종	2016년					정상시변동범위 (최소 ~ 최대)	
		1/4분기 (3.15)	2/4분기 (6.14)	3/4분기 (9.21)	4/4분기 (12.13)	연평균		
부지내	보일러건물	¹³⁴ Cs	<0.00398	<0.00354	<0.00379	<0.00534		<0.00109
		¹³⁷ Cs	<0.00382	<0.00292	<0.00428	<0.00539		<0.000941
		¹³¹ I	<0.00971	<0.00749	<0.00605	<0.0111		<0.00150
		⁶⁰ Co	<0.00448	<0.00241	<0.00419	<0.00487		<0.00120
		⁵¹ Cr	<0.0240	<0.0327	<0.0312	<0.0476		<0.00963
		⁵⁹ Fe	<0.00839	<0.00807	<0.00865	<0.00929		<0.00255
		⁵⁴ Mn	<0.00451	<0.00308	<0.00394	<0.00535		<0.000729
		⁴⁰ K	<0.0990	<0.101	0.213±0.054	<0.119	0.133	0.100 (<0.0397 ~ 0.136)

환경방사선/능 일시증가 보고 자료



[별지 서식]

환경방사선/능 일시증가 보고서

1. 사업소명 : 한국원자력연구원
2. 일시증가 보고 내용

구분	보고 내용				
	환경매체	보고핵종	시료채취일	지점(부지내·외, 비교)	발견일
육상시료	빗물	전베타	2016.11.30	독신료(첨부 참조)	2016.12.12

구분	보고 내용		최근 3년 이상		
	측정지	단위	지점 평균	지점 변동범위(최소~최대)	전체 지점 최대치
육상시료	0.735±0.024	Bq L ⁻¹	0.0891	<0.0280~0.318	0.357

3. 일시증가 원인
 시설영향 자연현상 시료채취 환경 원인불명 기타
4. 조치사항
 추가 원인규명 불필요 추가 원인규명 후 서면보고
5. 추가 원인규명이 불필요한 사유
 자연현상 증빙자료 첨부 원인규명 자료 첨부 원인분석 및 평가로 갈음
6. 원인분석 및 평가

- 한국원자력연구원 방사선환경 조사계획에 따라 대전 연구로 부지내 월별 빗물 시료를 채취하고 있음.
- 2016년 11월 월별 빗물 시료 중, 독신료 지점의 전베타 값이 0.735±0.024 Bq/L로 분석되었음. 이는 해당지역의 3년 평균치(0.0891 Bq/L)보다 약 8 배 정도 높은 값임.
- 원인은 시료채취 환경 중 낙엽 등에 의한 식물의 유기물 침출수에 함유된 K-40에서 기인한 것으로 보임.
- 동일 시료 중 칼륨 안정동위원소 (Stable K)를 측정하여 환산된 천연핵종인 K-40의 방사능과 전베타 측정값과 비교한 결과, 인공핵종에 의한 영향은 없는 것으로 파악됨.
- 11월 독신료 지점의 강수에 의한 전베타 측정값은 대전지역 강수 중의 전베타 연중 최소 최대 방사능농도 범위 (KINS/ER-028, vol. 47)인 0.0244~1.35 Bq/L 내에 포함됨.
- 동일 시료에 대한 감마핵종분석 및 삼중수소분석 결과 인공핵종에 의한 영향은 없었음.

원자력안전위원회고시 「원자력이용시설 주변의 방사선환경조사 및 방사선환경영향평가에 관한 규정」 제10조 제1호에 따라 환경방사선/능 일시증가 보고서를 제출합니다.

2016년 12월 14일

환경방사능평가실장 정근호

원자력안전위원회 귀중

첨부]

빗물의 방사능 농도(전베타) 일시증가 현황

2016. 12. 14.
환경방사능평가실

1. 보고 근거

- 원자력안전위원회고시 제2014-12호 제10조(보고) 제1항 '나'
 - 조사계획에 의한 시료채취지점에서의 방사능분석결과가 최근 3년 이상 자료(그 이하의 경우에는 확보된 자료만)의 평균치의 5배를 초과한 경우

2. 개요

- 대전 연구로 부지내 독신료 지점에서, 월별 빗물 시료 중 2016년 11월 시료에서 전베타 값이 0.735 ± 0.024 Bq/L로 보고기준인 3년 평균의 5 배 (0.446 Bq/L)를 초과함.
- 부지 내 다른 지점의 동일 기간 중 빗물 시료에서는 평소와 유사한 값을 보임.



3. 발생 원인

- 1) 월별 빗물 시료 중 전베타 분석을 위해, 2016년 11월 독신료 지점의 빗물 시료를 2016년 12월 12일에 분석한 결과는 0.735 ± 0.024 Bq/L로 3년 평균치(0.0891 Bq/L)의 5 배를 초과함.
- 2) 같은 시기 부지 내 다른 빗물 시료에서는 이상치가 발견되지 않았음 (표 1 참조).
- 3) 시료채취 시설 주변 환경에서 낙엽 등의 식물에 의한 유기물 침출수 중의 천연방사핵종에 의한 영향을 원인으로 판단하고, 빗물 시료 중의 칼륨 안정동위원소를 분석함 (표 2 참조).
- 4) 동일 기간 채취한 부지 다른 지점인 제3연구동의 빗물 시료도 비교 분석함.
- 5) ICP-OES를 이용하여 빗물 중의 칼륨 안정동위원소 (stable K)를 분석하였고, ^{40}K 의 방사능은 ^{40}K 의 자연존재비 (0.012%)와 비방사능 (265 Bq/mg K-40)을 사용하여 계산하였음 (표 2 참조).
- 6) 독신료 빗물 시료 중 포함된 ^{40}K 는 0.744 Bq/L로서, 전베타 분석결과 0.735 Bq/L와 2 % 이내에서 일치함. 제3연구동의 ^{40}K 는 0.268 Bq/L로서, 전베타 분석결과 0.256 Bq/L와 2 % 이내에서 일치하는 것으로 보아, 인공핵종에 의한 영향은 없었음.
- 5) 동일시료의 감마핵종분석결과 인공핵종은 검출되지 않았으며, ^{40}K 의 방사능은 1.1 Bq/L로서 연평균 0.376 Bq/L보다 높게 나타남 (표 3 참조).
- 7) 동일시료의 삼중수소 분석결과는 MDA (<1.72 Bq/L)이하로, 평년과 유사함.
- 8) 11월 독신료 지점의 강수에 의한 전베타 측정값은 대전지역 강수 중의 전베타 연중 최소 최대 방사능농도 범위 (KINS/ER-028, vol. 47)인 0.0244~1.35 Bq/L 내에 포함됨.

표 1 덕원자력시설 주변 빗물의 방사능 농도 (전베타)

조사 지점		11월(11.30)		
		11월(11.30)	연평균	3년 평균 (정상시변동 범위(최소 ~ 최대))
부지내	독신료	0.735±0.024	0.121	0.0891 (<0.000857~0.318)
	기상탑	0.0835±0.0112	0.0493	0.0742 (<0.0243~0.292)
	본관동쪽	0.0922±0.0115	0.0694	0.0779 (<0.0243~0.253)
	제3연구동	0.256±0.016	0.0655	0.0727 (<0.000857~0.240)
	평균	0.2916	0.0763	
주변지역	연산주말농장	0.110±0.012	0.0869	0.0856 (<0.0260~0.357)

표 2. 대덕원자력시설 주변 빗물의 칼륨 안정동위원소 측정값 및 ⁴⁰K 방사능 환산 값

시료 이름	ICP-OES 분석			기체비례계수기 분석
	stable K (mg/L)	⁴⁰ K (mg/L)	⁴⁰ K (Bq/L)	전베타 분석결과 (Bq/L)
독신료	23.4	0.002806	0.744	0.735
제3연구동	8.4	0.00101	0.268	0.256

* ⁴⁰K 자연존배지율: 0.012 %

* ⁴⁰K 비방사능: 265 Bq/mg

표 3. 감마핵종분석결과 (Bq/L)

조사 지점	조사 핵종	11월(11.30)	연평균	3년 평균 (정상시변동범위 (최소 ~ 최대))
독신료	Cs-134	<0.00449		<0.000857
	Cs-137	<0.00481		<0.000673
	I-131	<0.0123		<0.00112
	Co-60	<0.00523		<0.00127
	Cr-51	<0.0505		<0.00228
	Fe-59	<0.0112		<0.00123
	Mn-54	<0.00476		<0.000831
	K-40	1.10±0.11	0.376	<0.0330
제3연구동	Cs-134	<0.00398		<0.000854
	Cs-137	<0.00413		<0.000844
	I-131	<0.00848		<0.000811
	Co-60	<0.00402		<0.000660
	Cr-51	<0.0508		<0.00870
	Fe-59	<0.00978		<0.00101
	Mn-54	<0.00367		<0.00108
	K-40	<0.118		0.121 (<0.0100 ~ 0.644)

서지정보양식

KAERI보고서번호	KAREI/RR-4204/2016	보고서 종류	연구보고서
제 목 / 부 제	원자력시설주변 환경방사선 평가		
연구 책임자 및 부서명	정근호 / 환경방사능평가실		
연구자 및 부서명	강문자 / 방재환경부 최근식, 조영현, 김원영, 이완로, 지영용, 임종명, 김현철, 장 미, 고영진, 김창중, 임교선, 박두원, 박효국, 최상도 / 환경방사능평가실 김은한, 정해선 / 원자력환경안전연구부		
출 판 지	대전	발 행 일	2017.03.31
공 개 여 부	공개(O), 비공개()	참고사항	총 페이지(서문+본문) 170 p. 표(30)개, 그림(34)개, 참고문헌(43)개
비 밀 여 부	대외비(), _ 급 비밀		
INIS 공개여부	공개(O), 비공개()		
초록 (15-20줄 내외)			
<p>대덕 원자력이용시설과 서울 연구용원자로시설 부지 반경 30 km 이내 지역에 대해 공간감마선량률 측정과 환경시료에 대한 방사능 분석을 실시하였다.</p> <p>대덕 원자력이용시설과 서울 연구용원자로시설의 부지 및 주변의 공간감마선량률은 전년도와 비슷한 수준을 보였고, 전알파, 삼중수소, 우라늄 및 스트론튬-90 등 환경방사능 농도는 모든 시료에 있어서 정상시 변동범위 내에서 유지되고 있었다. 다만, 일부 빗물 시료의 전베타 방사능농도가 환경요인에 의해 일시증가 보고되었다. 감마동위원소의 경우 자연방사성핵종인 ^{40}K 또는 ^7Be를 제외한 대부분의 인공방사성핵종의 농도가 MDA 이하로 나타났다. 대덕 원자력이용시설의 경우 표층토양 및 하천토양 시료에서 ^{137}Cs 이 일부 검출되었고 서울 연구용원자로시설의 경우 지표수 시료에서 ^{131}I이 표층토양 시료에서 ^{137}Cs가 정상시 변동범위 이내에서 일부 검출되었다. 정상시 변동범위 수준으로 검출된 ^{137}Cs의 방사능 준위는 1960 ~ 1970년대 실시된 대기권 핵실험에 의한 전 지구적인 오염에 의한 것으로 판단된다. 한편, 원자력이용시설 운영으로 주변 주민에 대한 최대 유효선량은 0.000320 mSv/yr로 평가되었는데 이는 일반인에 대한 법적선량한도 (1 mSv/yr) 및 부지 기준치 (0.25 mSv/yr) 보다 낮은 값으로 주변 주민의 방사선에 의한 영향이 거의 없는 것으로 판단된다.</p> <p>본 연구의 환경방사선 평가 결과 조사기간 동안 원자력이용시설의 운영으로 인한 부지 및 주변 환경에 대한 변화는 일어나지 않은 것으로 판단된다.</p>			
주제명키워드 (10단어내외)	공간감마선량률, 전알파, 전베타, 삼중수소, 우라늄, 스트론튬-90, 감마동위원소, 환경방사능분석, 원자력시설, 기상관측, 주민선량평가		

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET

KAERI Report No.	KAREI/RR-4204/2016	Report Type	Research Report		
Title / Subtitle	Environmental Radiation Monitoring Around the Nuclear Facilities				
Project Manager and Department	Kun-Ho Chung / Environmental Radioactivity Assessment Team				
Researcher and Department	Mun-Ja Kang / Department of Emergency Preparedness and Environment Geun-Sik Choi, Young-Hyun Cho, Won-Young Kim, Wan-No Lee, Young-Yong Ji, Jong-Myoung Lim, Hyun-Cheol Kim, Mee Jang, Young-Gun Ko, Chang-Jong Kim, Kyo-Sun Lim Doo-Won Park, Hyo-Kook Park, Sang-Do Choi / Environmental Radioactivity Assessment Team Eun-Han Kim, Hae-Sun Jeong / Nuclear Environment Safety Research Division				
Publication Place	Daejeon	Date of Publication	2017.03.31	Total number of page	170 p.
Open	Open(O), Closed ()		Reference	Tabs. (30) Figs. (34) Refs. (43)	
Classified	Restricted(), Class Document				
INIS Open	Open(O), Closed ()				
Abstract (15-20 Lines)					
<p>Environmental Radiation Monitoring was carried out with measurement of environment. Radiation and environmental radioactivity analysis on the sites of KAERI nuclear facilities and Seoul Research Reactors and their environments.</p> <p>The average level of environmental radiation dose measured by an ERM and the accumulated radiation dose by a TLD were almost same level compared with the previous years. The activity of gross alpha and gross beta, Tritium, Uranium and Strontium in environmental samples showed a environmental level. The radioactivities of most γ-radionuclides in air particulate, fallout, rain water and ground water were less than MDA except ^{40}K or ^7Be which are natural radionuclides. However, not only ^{40}K or ^7Be but also ^{137}Cs or ^{131}I were detected in the surface soil, discharge sediment and surface water.</p>					
Subject Keywords (About 10 words)	exposure dose rate, gross alpha, gross beta, tritium, uranium, strontium-90, gamma radionuclide, environmental radioactivity analysis, nuclear facility, meteorology, dose assessment				

주 의

1. 이 보고서는 한국원자력연구원에서 시행한 원자력시설주변 환경 방사선 평가의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 한국원자력연구원에서 시행한 원자력시설주변 환경방사선 평가의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표하거나 공개하여서는 아니 됩니다.