

Status of a national monitoring program for environmental radioactivity and investigation of artificial radionuclide concentrations (^{134}Cs , ^{137}Cs and ^{131}I) in rivers and lakes

Jiyu Kim, Hyun-ji Jung, Mijeong An, Jung-Ki Hong, Taegu Kang[★], Tae-Woo Kang¹, Yoon-Hae Cho², Yeong-Un Han¹, Bitna Seol², Wansuk Kim² and Kyunghyun Kim

Water Quality Assessment Research Division, National Institute of Environmental Research

¹*Yeongsan-River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research*

²*Geum-River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research*

(Received August 11, 2015; Revised October 22, 2015; Accepted October 27, 2015)

방사성물질 측정망 현황 및 하천·호소 내 인공방사성물질 (^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{131}I) 조사

김지유·정현지·안미정·홍정기·강태구[★]·강태우¹·조윤해²·
한영운¹·설빛나²·김완석²·김경현

국립환경과학원 물환경평가연구과

¹국립환경과학원 영산강물환경연구소, ²국립환경과학원 금강물환경연구소
(2015. 8. 11. 접수, 2015. 10. 22. 수정, 2015. 10. 27. 승인)

Abstract: A survey of the artificial radionuclides in rivers and lakes was conducted to investigate their levels in surface water. Water samples were collected at 60 points and analyzed by gamma-ray spectrometry with a measurement time of 10,000 seconds for ^{134}Cs , ^{137}Cs , and ^{131}I . The obtained values were lower than MDA for all points, except one point for ^{131}I that was 0.533 ± 0.058 Bq/L. ^{131}I is known as a radioactive material that occurs frequently in sewage treatment plants. Because it is often used for medical treatments and subject to spreading into the environment due to the excretion from the patients. For the point where ^{131}I was detected, we conducted additional investigation on the upstream river point and the effluent points of nearby sewage treatment plant to find the source of ^{131}I . ^{131}I was not detected at the upstream points of one of the upstream sewage treatment plants but found at the downstream points with the level being 0.257 ± 0.034 to 0.799 ± 0.051 Bq/L, proving the sewage treatment plant was the ^{131}I source.

요약: 본 연구에서는 「공공수역 방사성물질 측정망 운영 계획」에 따른 모니터링 수행 내용을 소개하였고, 하천 및 호소 60 개 지점을 대상으로 인공방사성물질(^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{131}I)의 농도를 조사하여 우리나라 지표수 내 방사성물질의 실태를 파악하고자 하였다. 채취된 시료는 마리넬리 비커를 이용한 감마분광 분석기법으로 분석하였다. ^{134}Cs 와 ^{137}Cs 은 모든 지점에서 MDA 미만으로 조사되었고, ^{131}I 는 한 지점(0.533

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)32-560-7416 Fax : +82-(0)32-568-2053

E-mail : taegu98@korea.kr

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

± 0.058 Bq/L)을 제외한 모든 지점의 농도가 MDA 미만으로 나타났다. ^{131}I 는 의료용으로 사용하는 물질로 환자의 배설물로 인해 하수처리장 인근 하천수에서 빈번하게 검출되는 물질로 알려져 있다. 따라서 ^{131}I 가 검출된 원인을 파악하기 위해 하수처리장 방류지점을 포함한 ^{131}I 가 검출된 상류수계 6개 지점을 추가 조사하였다. 조사결과, 하수처리장 처리수 방류지점에서부터 하류방향으로 ^{131}I 가 지속적으로 검출되었으며, 농도는 0.257 ± 0.034 ~ 0.799 ± 0.051 Bq/L 범위로 조사되었다. 추가조사를 통해 하수처리장 방류수가 하천수의 ^{131}I 검출에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Key words: Artificial radionuclides, ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{131}I , Environmental monitoring

1. 서 론

2011년 3월 일본에서 진도 9.0의 지진과 지진해일 로 인해 후쿠시마 제1원자력 발전소에서 방사능 누출 사고가 발생하였다. 사고 며칠 만에 많은 양의 방사성 물질이 배출되었고 체르노빌 원자력 발전소 사고와 함께 국제 원자력 사고 등급(International Nuclear and Radiological Event Scale, INES)의 최고단계인 7 단계를 기록하였다.^{1,2} 후쿠시마 원전 사고의 휘발성 핵분열생성물은 $^{129\text{m}}\text{Te}$, ^{131}I , ^{134}Cs , ^{136}Cs , ^{137}Cs 등으로 일본 원자력안전보안원(Nuclear and Industrial Safety Agency, NISA)에서는 ^{131}I 약 160 PBq (PBq : 10^{15}Bq), ^{134}Cs 약 18 PBq, ^{137}Cs 약 15 PBq이 대기 중으로 방출되었다고 보고하였다.³⁻⁵

후쿠시마 원전사고로 인해 전 지구적으로 핵물질이 확산되었고, 지리적으로 가까운 우리나라의 대기와 빗물에서 일부 방사성물질이 검출되면서 방사능 오염에 대한 불안감이 고조되었다. 한국원자력안전기술원(2011)의 연구에서는 후쿠시마 원전사고의 영향으로 핵분열생성물인 요오드(^{131}I) 및 방사성세슘 동위원소(^{134}Cs 및 ^{137}Cs)가 우리나라의 공기 부유진, 강수, 낙진 등에서 검출되었다고 보고하였다.⁶ 2011년도 환경 방사능 조사결과, 인공방사성핵종의 방사능은 급격히 감소하였지만 방사성세슘 동위원소는 간헐적으로 검출되는 것으로 나타났고, 특히 지표수 중 ^{131}I 은 <0.00109 ~ 1.21 Bq/L, ^{137}Cs 은 <0.000122 ~ 0.00128 Bq/L로 조사되었다.⁶

^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs 은 원전 사고 시 발생하는 대표적인 인공방사성물질로 ^{131}I 는 반감기가 약 8일로 짧지만 인체에 노출 될 경우 갑상샘에 축적되어 암을 유발하고, ^{134}Cs 와 ^{137}Cs 은 반감기가 각각 2.1년과 30년으로 내부피폭 시 대부분 피하지방이나 근육에 저장되어 DNA의 변화를 일으키는 등 만성적으로 악영향을 끼친다.^{7,8} 이들 방사성물질은 화학적 독성과 방사선 피폭

에 대한 인체영향으로 국제식품규격위원회에서 규제하고 있으며,⁹ 우리나라에서도 후쿠시마 원전사고 이후 식품 중 ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs 등 방사성물질의 검사를 강화하였다.^{10,11}

한편, 국외에서는 사고 예측 및 대응을 위해 주기적으로 환경 중 방사성물질을 감시하고 있다. 미국 환경청(US EPA)에서는 Radnet이라는 국가 환경방사능 모니터링 프로그램을 운영하고 있고, Radnet에서는 방사성물질의 평균 측정값을 제공하고 데이터 변화추이에 따라 사고를 예측하며 이에 따른 결과를 데이터 맵으로 제공한다.¹² 또한 일본 환경성에서는 체해나 사고 등에 대응하기 위한 환경방사능 모니터링 조사를 수행하고 있고, 일본 원자력규제위원회에서는 환경방사능 수준조사를 통해 원자력시설의 영향을 파악하고 있다.^{13,14} 프랑스 Institute for Radiological Protection and Nuclear Safety (IRSN)에서는 방사성물질의 환경영향을 파악하고 사고에 대응하기 위해서 환경모니터링을 수행하고 있다. IRSN의 모니터링계획은 환경위해도에 따라 결정되며 일반적으로 핵시설 주변을 바탕으로 실시하고 있다.¹⁵

우리나라는 원자력안전위원회를 통해 전국 환경방사능을 감시하고 평가하도록 되어있으며,¹⁶ 원자력안전위원회는 한국원자력안전기술원에 위탁하여 해양, 원자력시설 및 전국토 환경방사능 모니터링을 실시해 오고 있다.¹⁷ 하지만 후쿠시마원전 사고 이후, 지표수에 대한 모니터링을 종료하면서 방사성물질 확산에 대비한 하천 및 호소 등 공공수역에 대한 모니터링이 필요하게 되었다. 이에 환경부에서는 국민의 건강과 직결되는 상수원인 하천·호소에 대한 방사성물질 영향을 정기적으로 조사함으로써 국민의 불안을 해소하고, 방사능방재대책 수립에 필요한 정보를 적기에 제공할 수 있는 감시체계를 구축하기 위하여 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」을 개정하였고, 이를 근거로 「공공수역 방사성물질 측정망 운영계획」을 수

립하였다.^{18,19} 따라서 본 연구에서는 「공공수역 방사성 물질 측정망 운영계획」에 따른 모니터링 수행 내용을 소개하고, 운영계획에서 선정된 60 개 지점을 대상으로 상수원 보호구역 내 인공방사성물질(¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ¹³¹I)의 분포실태를 파악하고자 하였다. 또한 국외 하천수 모니터링 결과와 비교하여 우리나라 하천수의 방사성물질 농도수준을 검토하고 특성을 분석하였다.

2. 측정망 운영 현황 및 분석방법

2.1. 측정망 운영 현황

공공수역 방사성물질 측정망은 국립환경과학원에서 시험분석총괄과 한강 수계를 담당하고, 금강물환경연구소는 낙동강 및 금강 수계를 담당하며, 영산강물환경연구소는 영산강 및 섬진강 수계를 담당하고 있다. 측정망 운영지점은 수질측정망 지점을 바탕으로 전국 60 지점(하천 54 지점, 호소 6 지점)으로 한강 수계 16 지점, 낙동강 수계 16 지점, 금강 수계 13 지점, 영산강 수계 15 지점으로 운영된다(Fig. 1). 조사항목으로는 원전사고 시 가장 많이 배출되는 ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ¹³¹I를 선정하였으며, 조사주기는 상·하반기로 나누어 1



Fig. 2. High Purity Germanium (HPGe) Gamma-ray spectroscopy system.

년에 2회에 걸쳐 지속적으로 조사하고 있다.

2.2. 분석방법

시료는 가능한 수질이 안정되고 대표적인 상태라고 판단 될 때 물 흐름, 하상 등 현장여건을 고려하여 기존 자료와의 연속성과 대표성을 확보할 수 있는 지점에서 채취하였다. 채취된 시료는 메스실린더로 정량(1L)하여 계측용기인 마리넬리 비커에 옮겨 담아 감마선분광분석기(Gamma-ray spectrometer, AMETEK ORTEC)를 이용하여 분석하였다. 감마분광분석시스템은 High Purity Germanium Detector (HPGe, GEM-MX7080P4-RB-SMP-S), Digital Spectrometer (DSPEC

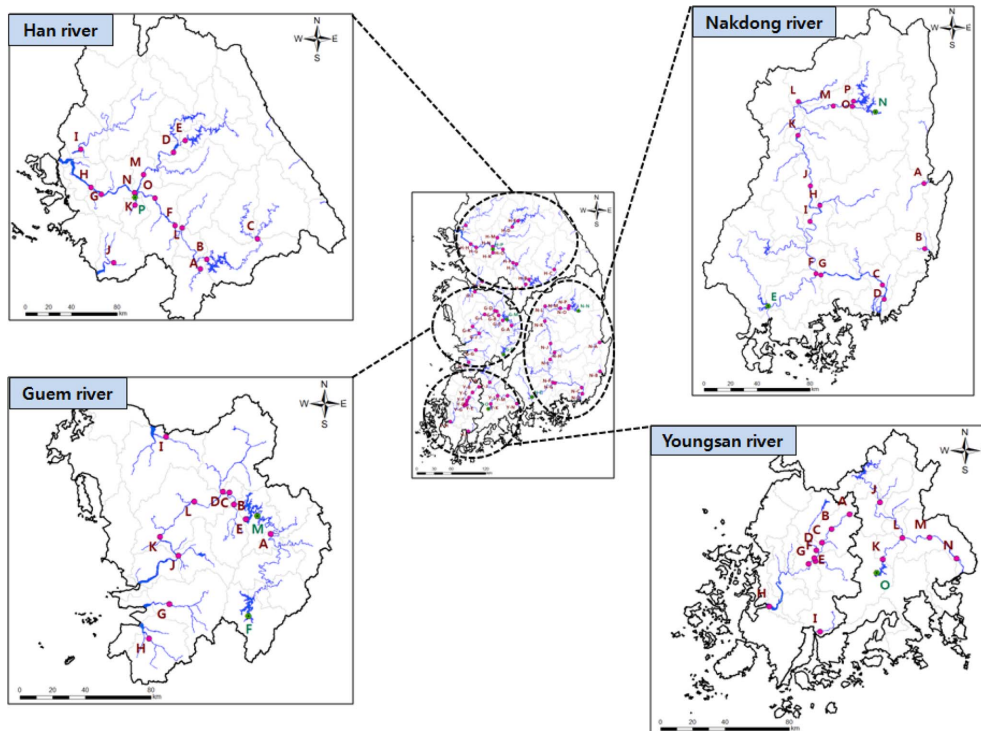


Fig. 1. National environmental radioactivity monitoring networks for rivers and lakes.

Table 1. Nuclear properties of target radionuclide

Radionuclide	Half-life	Energy(keV)	Yield(%)
¹³⁴ Cs	2 years	604.72	97.62
		795.86	85.53
		569.33	15.38
		801.95	8.69
		563.25	8.35
¹³⁷ Cs	30 years	661.66	85.1
¹³¹ I	8 days	364.49	81.7
		636.99	7.17
		284.30	6.14

50), 전기냉각기, 컴퓨터 및 주변기기 등으로 구성된다 (Fig. 2). HPGe 검출기의 상대효율은 66%, ⁶⁰Co에서 방출되는 에너지 1332.5 keV에 대한 에너지 분해능 (FWHM)은 1.9 keV, 피크대컴프턴(Peak to Compton) 비는 75:1이었다. 효율교정을 위해 한국표준과학연구원(Korea Research Institute of Standards and Science, KRISS)에서 제작한 교정용 혼합 표준선원(²⁴¹Am, ¹⁰⁹Cd, ⁵⁷Co, ¹³⁹Ce, ⁵¹Cr, ¹¹³Sn, ⁸⁵Sr, ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co, ⁸⁸Y)을 사용하였고, 표준선원의 인증된 방사능 농도와 측정된 방사능 농도를 비교하여 산출된 효율곡선의 핵종별 오차를 ±5%로 하였다. 시료가 존재하지 않는 마리벨리 비커를 이용하여 백그라운드 보정을 진행하였고, 시료 측정시간은 10,000초로 하였다. 대상핵종의 농도를 결정하기 위한 핵종별 고유에너지는 방출율이 4% 이상인 에너지를 선택하였으며, ¹³⁴Cs은 604.72 keV, 795.86 keV, 569.33 keV, 801.95 keV, 563.25 keV, ¹³⁷Cs은 661.66 keV, ¹³¹I는 364.49 keV, 636.99 keV, 284.30 keV를 사용하였다(Table 1). 측정이 끝난 스펙트럼은 분석용 프로그램인 Gamma Vision (EG&G ORTEC Co.)을 이용하여 분석하였다.

환경방사능 분석 시에는 방사능붕괴와 백그라운드 계수치의 통계학적 요동특성으로 실제로 존재하지 않는 시료의 계수치가 백그라운드를 상회하는 경우가 발생한다. 따라서 방사능 존재여부를 판단하는 근거로 검출기 특성(백그라운드, 검출효율)과 시료크기, 측정 시간, 자기흡수, 화학수율 등을 포함한 최소검출가능 농도(Minimum detectable activity, MDA)를 함께 나타내어야 한다. MDA는 Currie의 유도식을 바탕으로 아래의 식에 의해 계산되며,²⁰⁻²² 분석 프로그램(Gamma Vision)을 통해 산출하였다.

$$MDA = \frac{2.71 + 4.65\sqrt{BGC}}{t_B \cdot E \cdot Y \cdot S}$$

BGC : 백그라운드 계수치

t_B : 백그라운드 측정시간

E : 계수효율

Y : 화학수율

S : 시료량 및 반감기 보정인자

3. 결과 및 고찰

지준위 환경방사능 분석에서 측정값이 의미 있는 값을 가지려면 MDA를 가능한 낮게 설정하여야 한다.²³ 환경부 고시에서는 기준 MDA를 ¹³⁴Cs 및 ¹³⁷Cs의 경우 0.5 Bq/L, ¹³¹I의 경우 1 Bq/L로 규정하였으며,¹⁹ 시료분석 결과 ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ¹³¹I의 측정 MDA는 각각 0.042~0.21 Bq/L, 0.051~0.27 Bq/L, 0.043~0.25 Bq/L로 모두 고시를 만족하였다(Fig. 3).

공공수역 내 인공방사성물질 조사 결과 ¹³⁴Cs 및 ¹³⁷Cs은 모든 지점에서 MDA 미만으로 나타났고, ¹³¹I는 금강수계의 I지점(0.533±0.058 Bq/L)을 제외한 모든 지점에서 MDA 미만으로 조사되었다(Table 2). 이

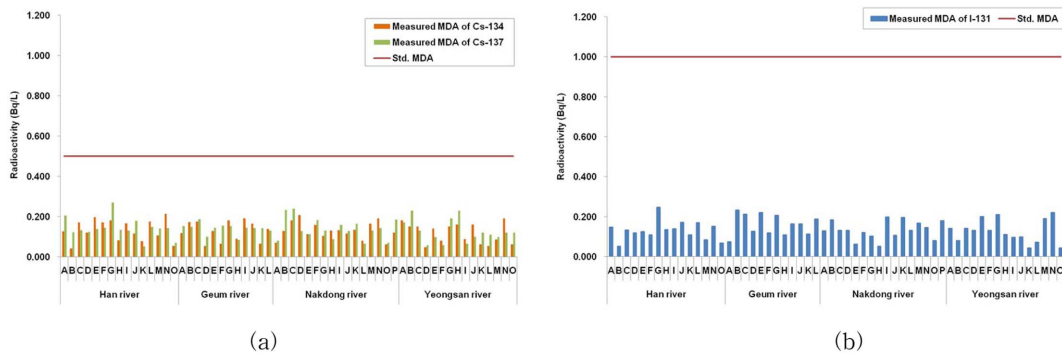


Fig. 3. Comparison of the standard MDA with the measured MDA (a) ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs, (b) ¹³¹I.

Table 2. Results of investigation on radioactivity levels of ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs and ¹³¹I in the 60 sampling points

Sampling point	Sampling date	Concentration (Bq/L)			Sampling point	Sampling date	Concentration (Bq/L)				
		¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³¹ I			¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³¹ I		
Han river	A	2014/09/15	<0.13	<0.21	<0.15	A	2014/10/06	<0.12	<0.15	<0.075	
	B	2014/09/15	<0.042	<0.12	<0.051	B	2014/10/06	<0.17	<0.15	<0.23	
	C	2014/09/15	<0.17	<0.13	<0.13	C	2014/10/06	<0.17	<0.19	<0.21	
	D	2014/09/16	<0.12	<0.12	<0.12	D	2014/10/06	<0.053	<0.10	<0.13	
	E	2014/09/16	<0.20	<0.14	<0.12	E	2014/10/07	<0.13	<0.15	<0.22	
	F	2014/09/16	<0.17	<0.15	<0.11	F	2014/10/07	<0.065	<0.16	<0.12	
	G	2014/09/17	<0.18	<0.27	<0.25	G	2014/10/08	<0.18	<0.15	<0.21	
	H	2014/09/17	<0.083	<0.13	<0.14	Geum river	H	2014/10/08	<0.090	<0.084	<0.11
	I	2014/09/17	<0.17	<0.13	<0.14	I	2014/10/10	<0.19	<0.15	0.533±0.058	
	J	2014/09/18	<0.12	<0.18	<0.17	J	2014/10/13	<0.16	<0.14	<0.16	
	K	2014/09/18	<0.078	<0.051	<0.11	K	2014/10/13	<0.065	<0.14	<0.11	
	L	2014/09/18	<0.17	<0.15	<0.17	L	2014/10/13	<0.14	<0.13	<0.19	
	M	2014/09/19	<0.11	<0.14	<0.085	M	2014/10/07	<0.13	<0.15	<0.22	
	N	2014/09/19	<0.21	<0.14	<0.15						
O	2014/09/19	<0.053	<0.070	<0.068							
P	2014/09/19	<0.21	<0.14	<0.15							
Nak-dong river	A	2014/09/24	<0.069	<0.080	<0.13	A	2014/10/20	<0.18	<0.17	<0.14	
	B	2014/09/24	<0.13	<0.23	<0.18	B	2014/10/21	<0.15	<0.23	<0.080	
	C	2014/09/24	<0.18	<0.24	<0.13	C	2014/10/21	<0.15	<0.13	<0.14	
	D	2014/09/24	<0.21	<0.13	<0.13	D	2014/10/21	<0.048	<0.058	<0.13	
	E	2014/09/25	<0.11	<0.11	<0.061	E	2014/10/24	<0.14	<0.098	<0.20	
	F	2014/09/25	<0.16	<0.18	<0.12	F	2014/10/24	<0.080	<0.058	<0.13	
	G	2014/09/25	<0.10	<0.13	<0.10	G	2014/10/24	<0.15	<0.19	<0.21	
	H	2014/09/26	<0.13	<0.088	<0.051	Young-san river	H	2014/10/22	<0.16	<0.23	<0.11
	I	2014/09/26	<0.13	<0.16	<0.20	I	2014/10/22	<0.088	<0.065	<0.097	
	J	2014/09/26	<0.12	<0.13	<0.11	J	2014/10/20	<0.16	<0.10	<0.099	
	K	2014/09/29	<0.14	<0.17	<0.20	K	2014/10/20	<0.062	<0.12	<0.043	
	L	2014/09/29	<0.080	<0.065	<0.13	L	2014/10/23	<0.053	<0.11	<0.071	
	M	2014/09/29	<0.16	<0.13	<0.17	M	2014/10/23	<0.086	<0.098	<0.19	
	N	2014/09/30	<0.19	<0.14	<0.14	N	2014/10/23	<0.19	<0.12	<0.22	
O	2014/09/30	<0.062	<0.070	<0.079	O	2014/10/20	<0.062	<0.12	<0.043		
P	2014/09/30	<0.12	<0.18	<0.18							

※<MDA(Minimum Detectable Activity), lower than MDA, which value is indicated in each case.

와 같은 결과는 원전사고와 핵실험 등 인위적인 활동으로 인해 발생한 ¹³⁴Cs과 ¹³⁷Cs은 대기 중에서는 멀리 이동할 수 있지만, 강우나 중력에 의해 침강된 경우 토양 또는 퇴적물에 강하게 흡착되어 일반적으로 물에서 검출되는 농도가 매우 낮기 때문인 것으로 판단된다.^{24,25} 따라서 ¹³⁴Cs와 ¹³⁷Cs에 대한 조사는 퇴적토나 주변 토양의 조사가 함께 수행되어야 할 것으로 사료된다. ¹³¹I의 경우, 짧은 반감기(약 8일)에도 검출되는 이유는 핵의학에서 갑상선기능항진증과 갑상선암 치료제로 가장 빈번하게 이용되고 있기 때문인 것으로 판단된다.²⁶⁻²⁸

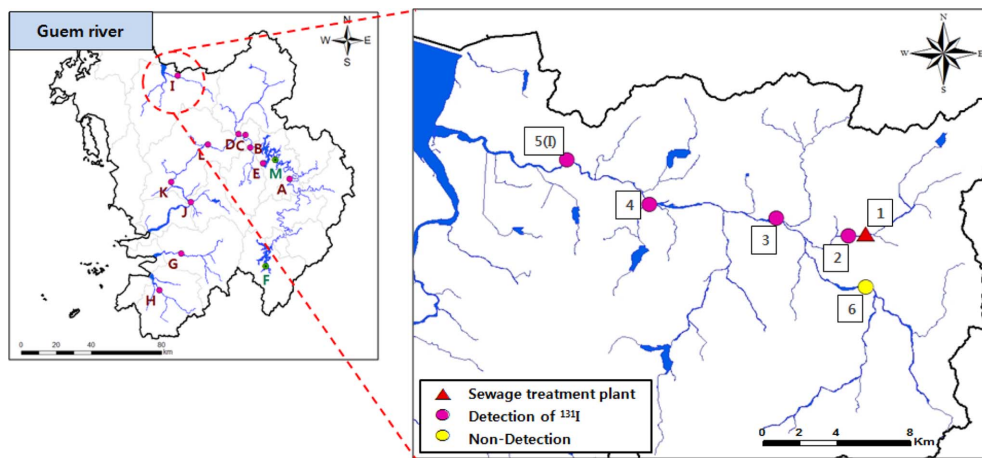
한편, 국내 하천수의 방사성물질 농도를 국외 조사

결과와 비교하였다(Table 3). 국외 하천수 내 인공방사성물질 조사연구 사례는 많지 않았으며, ¹³⁴Cs와 ¹³⁷Cs 모니터링은 주로 원자력발전소 하류에 위치한 강을 중심으로 수행되었고, ¹³¹I는 하수처리장이나 핵의학에 다루는 병원 주변 하천수를 대상으로 하였다. 일본은 주로 후쿠시마 원자력발전소 인근 하천수를 조사하였고, 하천수 내 ¹³⁴Cs은 0.007~1.8 Bq/L, ¹³⁷Cs은 0.008~2.2 Bq/L, ¹³¹I는 1.4~24 Bq/L로 나타났다. 일본의 인공방사성물질 조사결과, 후쿠시마 사고 직후인 2011년 3월에는 다른 지역에 비해 높게 나타났으나,²⁹ 2011년 12월의 조사결과 ¹³⁴Cs와 ¹³⁷Cs의 농도는 지역간 유사한 수준으로 나타났다.^{30,35} 유럽 하천수의 ¹³⁴Cs은

Table 3. ^{134}Cs , ^{137}Cs and ^{131}I activity concentrations in water from a number of rivers around the world

River	^{134}Cs (Bq/L)	^{137}Cs (Bq/L)	^{131}I (Bq/L)	Location, date
Potomac ³¹			0.076-6.07	U.S.A., 2010
Watarasegawa ²⁹	1.6-1.8	1.5-2.2	1.4-24	Japan, 2011
Edogawa	<0.5	<0.5	2.2	
Abukuma ³⁰	0.031-0.091	0.041-0.120		Japan, 2011
Uta	0.03	0.037		
Niida	0.149	0.189		
Natsui	0.022	0.028		
Same	0.009	0.011		
Tone	0.007	0.008		
Karasu	0.009	0.011		
Watarase	0.011	0.013		
Akagi-Ohnuma	0.014	0.014		
main stream of Abukuma ³⁵	0.013-0.099	0.018-0.170		Japan, 2012
branches of Abukuma	0.012-0.103	0.032-0.274		
Tejo ³⁶		<0.35	0.56(mean)	Portugal, 2001-2005
Seine ³⁷			0.0004-0.0119	France, 2003
Ebro ³⁸	0.0003-0.022	0.00062-0.035		Spain, 1991-1993
This study	<MDA	<MDA	0.533±0.058	Korea, 2014

※<MDA (Minimum Detectable Activity), lower than MDA, which value is indicated in each case.

Fig. 4. Additional sampling points to investigate potential sources of ^{131}I detected at the point I.

0.0003~0.022 Bq/L로 조사되었으며, ^{137}Cs 은 검출되지 않거나 검출된 하천에서의 범위는 0.00062~0.035 Bq/L로 나타났고, ^{131}I 은 0.0004~0.56 Bq/L의 범위를 보였다. 미국 Potomac강의 ^{131}I 농도는 0.076~6.07 Bq/L로 다소 높은 값을 보였으며, 이는 대형병원과 하수처리장이 밀집해 있는 지역이기 때문인 것으로 나타났다.³¹

일반적으로 방사성물질로 치료받은 환자의 배설물은 병원 내 처리장에서 처리되어 배출되지만 집에서 치료받는 환자의 배설물의 경우 공공하수처리장으로

Table 4. Activity concentrations of ^{131}I for additional sampling points

Sampling point #	Sampling date	^{131}I (Bq/L)
1	2014/11/24	0.799±0.051
2	2014/11/24	0.795±0.044
3	2014/11/24	0.228±0.031
4	2014/11/24	0.288±0.041
5(I)	2014/11/24	0.257±0.034
6	2014/11/24	<0.062

유입되며,³² 그 중 ¹³¹I는 하수처리장에서 가장 빈번하게 검출되는 방사성물질이다.³³ 또한 의료용 ¹³¹I는 지표수, 조류, 퇴적물 등 다양한 매체 내 존재한다고 보고되었다.^{28,31,34} 따라서 금강수계의 I지점에서 ¹³¹I가 검출된 원인을 파악하기 위하여 하수처리장 처리수 방류지점과 I지점이 위치한 하천의 상류수계 6지점을 대상으로 추가조사를 실시하였다(Fig. 4). 조사결과 하천의 상류인 (6)지점에서는 ¹³¹I가 검출되지 않았고, 하수처리장이 있는 (1)지점에서 ¹³¹I가 검출되었다(Table 4). 추가조사에서 ¹³¹I가 재검출 되었고, 하천의 상류인 (1)지점에서 하류에 위치한 (5)지점으로 갈수록 희석 등으로 인해 농도가 점차 줄어들지만 지속적으로 검출되는 것으로 보아 하수처리장의 영향으로 ¹³¹I가 검출되는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 하천·호소 내 존재하는 인공방사성 물질의 수준조사를 위해 「공공수역 방사성물질 측정망 운영계획」에서 소개한 60개 지점을 대상으로 ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ¹³¹I에 대한 조사를 수행하였다. ¹³⁴Cs과 ¹³⁷Cs은 모든 지점에서 MDA 미만으로 조사되었고, ¹³¹I는 한 지점(0.533±0.058 Bq/L)을 제외한 모든 지점의 농도가 MDA 미만으로 나타났다. ¹³¹I가 검출된 원인을 파악하기 위하여 하수처리장 처리수 방류지점 및 ¹³¹I가 검출된 하천의 상류수계 6개 지점을 대상으로 추가조사를 실시하였다. 추가조사 결과, ¹³¹I가 하수처리장 처리수 방류지점에서부터 하류 방향으로 지속적으로 검출되었고, 하수처리장 방류수가 하천수내 ¹³¹I의 검출에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

본 연구를 통해 지표수에서 검출된 ¹³¹I는 핵시설 등의 사고가 원인이 되기보다 의료용 방사성물질에서 기인한 것으로 판단된다. 의료용 방사성물질의 잦은 사용빈도와 배설물 등을 통해 환경 중으로 쉽게 확산될 수 있다는 것을 고려했을 때, 의료용 방사성물질을 포함하여 조사항목을 확대할 필요가 있다고 사료된다. 또한 대형병원의 하수가 유입되는 하수처리장 방류수 배출지점 부근에 대한 점진적 지점 확대 등 조사체계를 재확립할 필요가 있다고 판단된다.

References

1. NOAA, <http://nctr.pmel.noaa.gov/honshu20110311/>, Assessed 11 Mar. 2011.
2. INES, 'Rating on the Events in Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station by the Tohoku District-off the Pacific Ocean Earthquake', pp. 3-5, METI, Japan, 2011.
3. N. Kinoshita, K. Sueki, K. Sasa, J. Kitagawa, S. Ikarashi, T. Nishimura, Y. S. Wong, Y. Satou, K. Handa, T. Takahashi, M. Sato and T. Yamagata, *P. Natl. Acad. Sci. USA.*, **108**(49), 19526-19529 (2011).
4. NRA, 'Materials were reported to the Nuclear Safety and Security Commission', No. 77, Japan, 2011.
5. P. Thakur, S. Ballard and R. Nelson, *Sci. Environ.*, **458-460**, 577-613 (2013).
6. KINS, 'Environmental Radioactivity Survey Data in Korea', KINS/ER-028, 88-90, 2011.
7. V. Valkovic, 'Radioactivity in the Environment', ISBN 0-444-82954-7, p468-474, Elsevier, Netherlands, 2000.
8. WHO, 'Health Risk Assessment from the Nuclear Accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami, based on a Preliminary Dose Estimation', p17-24, ISBN 978-92-4-150513-0, Japan, 2013.
9. CODEX, 'General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed', p2-53, CODEX STAN 193-1995, USA, 1995.
10. Ministry of Food and Drug Safety, <http://www.mfds.go.kr/index.do?mid=977&pageNo=15&seq=14524&cmd=v>, Assessed 26 Mar. 2011.
11. Ministry of Food and Drug Safety Notification No. 2012-128 (2012.06.21), Standards and Specifications for Foods.
12. USEPA, <http://www.epa.gov/radnet/index.html>, Assessed 29 Oct. 2015.
13. NRA, <http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/hakusyo/hakusyo13/361.htm>, Assessed 1 Jan. 2000.
14. Ministry of Environment, 'Study Group Report on the Constant Monitoring of Radioactive Substances', Japan, 2013.
15. IRSN, 'Report on the Radiological State of the Environment in France in 2010-2011', pp. 6-29, BP 182, France, 2014.
16. Nuclear Safety and Security Commission Act No. 13078 (2015.01.20), Republic of Korea.
17. KRIS, 'An Establishment of Standard Operating Procedure for Radioactive Materials in Public Waters', pP. 5-40, 2014.

18. Ministry of Environment Act No.10272 (2010.04.15.), Republic of Korea.
19. Ministry of Environment Notification No. 2014-160 (2014.09.03), Republic of Korea.
20. L. A. Currie, *Am. Chem. Soc. Publ.*, **40**(3), 586-593 (1968).
21. G. R. Gilmore, 'Practical Gamma-ray Spectrometry', 2nd Ed., ISBN 978-0-470-86196-7, p114-129, Wiley, USA, 2008.
22. E. S. Jang, *Korean Soc. Radiol.*, **5**(1), 5-10 (2011).
23. M. H. Lee, H. S. Shin, K. H. Hong, Y. H. Cho and C. W. Lee, *J. Radiat. Prot.*, **24**(3), 171-184 (1999).
24. ATSDR, 'Toxicological Profile for Cesium', PB2004-104397, p2-4, USA, 2004.
25. T. Kanjimoto, S. Endo, T. Naganuma and K. Shizuma, *Kyoto Univ. Res. React. Inst.*, **2**(8), 1-5 (2012).
26. EPA, 'Radioactivity of municipal sludge', 823R86101, p1-25, USA, 1986.
27. ATSDR, 'Radiation Exposure from Iodine 131', SS3117, p5-7, USA, 2008.
28. B. U. Chang, S. W. Choi, M. H. Song, J. S. Lee and Y. J. Kim, *Radiat. Prot. Dosim.*, **146**(1-3), 318-321 (2011).
29. Y. Oura and M. Ebihara, *Geochem J.*, **46**, 303-309 (2012).
30. S. Nagao, M. Kanamori, S. Ochiai, K. Suzuki and M. Yamamoto, *Prog. Nucl. Sci. Technol.*, **4**, 9-13 (2014).
31. P. S. Rose, J. P. Smith, J. K. Cochran, R. C. Aller and R. L. Swanson, *Sci. Total Environ.*, **452-453**, 87-97 (2013).
32. F. Jimnez, L. Debn, R. Pardo, R. Lpez and M. G. Talavera, Spain, *Water Air Soil Poll.*, **217**, 515-521 (2011).
33. F. Jimnez, R. Lpez, R. Pardo, L. Debn and M. G. Talavera, *Radiat. Meas.*, **46**, 104-108 (2011).
34. H. W. Fischer, S. Ulbrich, D. Pittauerova and B. Hettwig, *J. Environ. Radioactiv.*, **100**, 1079-1085 (2009).
35. T. Yasutaka, Y. Kawabe, A. Kurosawa and T. Komai, *Kyoto Univ. Res. React. Inst.*, **2**(17), 1-4 (2012).
36. M. Malta, J. M. Oliveira, L. Silva and F. P. Carvalho, *J. Integr. Coast. Zone Manage.*, **13**(4), 399-408 (2013).
37. O. Connan, E. Tessier, D. Maro, D. Amouroux, D. Hebert, M. Rozet, C. Voiseux and L. Solier, *J. Environ. Radioactiv.*, **99**, 1102-1110 (2008).
38. J. A. Sanchez-Cabeza, L. Pujol, J. Merino, J. M. Bruach and J. Molero, *Water Air Soil Poll.*, **118**, 339-356 (2000).