

해양환경방사능조사

Marine Environmental Radioactivity Survey

2022. 12.



제 출 문

한국원자력안전기술원장 귀하

본 보고서를 2022년도 “해양환경방사능조사” 보고서로 제출합니다.

2022년 12월

사 업 책 임 자 : 김대지

사 업 참 여 자 : 강유겸, 강진구, 김광범, 김봉호, 김용재,
김철수, 김현일, 류정현, 서지혜, 안수정,
윤용기, 이상국, 이상현, 이정민, 이정빈,
이진오, 임성아, 조흥준, 채규한, 최석원,
최인희, 한승연 (가나다순)

국립수산과학원

최정화, 정해근, 최양호, 전형주, 황재동

목 차

요 약	i
그림목차	v
표 목 차	vi
I. 서론	3
II. 해양방사능 조사	7
1. 조사목적 및 조사계획	7
1.1 조사목적	7
1.2 조사계획	7
2. 조사 및 분석방법	10
2.1 조사방법	10
2.2 분석방법	10
3. 조사결과 및 평가	15
3.1 표층 해수	15
3.2 수심별 해수	29
3.3 해저퇴적물	35
3.4 해양생물	37
III. 해수방사능감시망 운영	51
1. 목적 및 필요성	51
2. 해수방사능감시망 설치 위치	51
3. 해수방사능감시망 시스템 구성 및 운영	52
4. 해수방사능감시망 운영 결과	55
V. 결 론	59
부록	63
1. 해양환경 조사	63
2. 후쿠시마 원전 사고 이전부터 운영된 22개 정점 표층 해수 방사능농도	81

요 약

해양환경방사능조사는 우리나라 주변해역의 환경방사능 준위분포 및 변동 추이를 조사하여 국내·외 방사선사고로부터 국민을 보호하고 환경을 보전하는데 목적이 있다. 한국 원자력안전기술원은 원자력안전법 제105조(전국환경방사능감시) 제1항에 근거하여 우리나라 주변해역에서 채취한 해수, 해저퇴적물, 해양생물시료를 대상으로 방사성핵종(^{137}Cs , ^3H , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$)에 대한 방사능분석 및 Pu 동위원소비($^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$)를 조사하였다. 해양시료는 국립수산물과학원 본원과 동해, 서해, 남해 수산연구소에 위탁하여 확보하였다. 표층 해수에 대한 방사능감시는 1994년부터 우리나라 주변 해역 21~22개 정점의 방사능농도 및 Pu 동위원소비 조사를 수행하였다. 일본 후쿠시마 원전 사고 이후 해양방사능감시를 강화하여 해수 조사빈도 증가 및 조사범위를 확대하였으며, 어류 조사범위도 배타적 경제수역 내까지 확대하였다.

2022년 우리나라 주변 해역 34개 정점에서 채취한 표층 해수의 방사성핵종(^{137}Cs , ^3H , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$)에 대한 방사능농도를 분석한 결과, ^{137}Cs 은 $0.843\sim 2.26\text{ mBq/kg}$ (평균 $1.37\pm 0.21\text{ mBq/kg}$), ^3H 는 $0.0779\sim 0.451\text{ Bq/L}$ (평균 $0.193\pm 0.070\text{ Bq/L}$), ^{90}Sr 은 $0.319\sim 0.889\text{ mBq/kg}$ (평균 $0.487\pm 0.135\text{ mBq/kg}$), $^{239+240}\text{Pu}$ 은 $2.12\sim 6.35\text{ }\mu\text{Bq/kg}$ (평균 $4.26\pm 1.22\text{ }\mu\text{Bq/kg}$) 범위였으며, Pu 동위원소비($^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$) 범위는 $0.199\sim 0.243$ (평균 0.229 ± 0.010) 였다. 서해와 남해 해수의 ^{137}Cs , ^3H , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도는 수심별로 거의 일정하였다. 동해 해수에서는 혼합층(수심 200 m) 아래 500 m부터 ^{137}Cs 의 방사능농도가 감소하는 경향을 보이며, $^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도는 표층 해수에서부터 깊이 내려갈수록 증가하다가 1,000 m 이하부터 변화가 거의 없었다.

해저퇴적물의 ^{137}Cs , ^{40}K , ^{90}Sr 및 $^{239+240}\text{Pu}$ 의 방사능농도는 각각 $<0.475\sim 3.16\text{ Bq/kg-dry}$ (평균 $1.40\pm 0.69\text{ Bq/kg-dry}$), $439\sim 864\text{ Bq/kg-dry}$ (평균 $759\pm 99\text{ Bq/kg-dry}$), $<0.106\sim 0.575\text{ Bq/kg-dry}$ (평균 $0.233\pm 0.185\text{ Bq/kg-dry}$), $0.0912\sim 0.935\text{ Bq/kg-dry}$ (평균 $0.513\pm 0.358\text{ Bq/kg-dry}$) 였고, Pu 동위원소비의 범위는 $0.200\sim 0.243$ (평균 0.225 ± 0.016) 이었다.

해양생물의 ^{137}Cs , ^{40}K , ^{90}Sr 및 $^{239+240}\text{Pu}$ 에 대한 방사능농도의 범위는 어류 중 각각 $<17.0\sim 177\text{ mBq/kg-fresh}$ (평균 $68.7\pm 40.0\text{ mBq/kg-fresh}$), $21.9\sim 122\text{ Bq/kg-fresh}$ (평균 $73.7\pm 21.6\text{ Bq/kg-fresh}$), 최소검출가능농도 미만($<6.09\text{ mBq/kg-fresh}$), 최소검출가능농도 미만($<0.0335\text{ mBq/kg-fresh}$) 이었다. 패류에서 ^{137}Cs , ^{40}K , ^{90}Sr 및 $^{239+240}\text{Pu}$ 의 방사능 농도범위는 각각 최소검출가능농도 미만($<11.1\text{ mBq/kg-fresh}$), $17.0\sim 92.7\text{ Bq/kg-fresh}$ (평균 $51.4\pm 23.2\text{ Bq/kg-fresh}$), 최소검출가능농도 미만($<2.98\text{ mBq/kg-fresh}$) 및 $1.60\sim 2.92\text{ mBq/kg-fresh}$ (평균 $2.24\pm 0.66\text{ mBq/kg-fresh}$) 이었다. 모든 해조류에서 ^{137}Cs 농도는 최소검출가능농도 미만($<15.5\text{ mBq/kg-fresh}$) 이었으며, ^{40}K , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ 및 ^{131}I 의 방사능농도 범위는 $7.53\sim 382\text{ Bq/kg-fresh}$ (평균 $183\pm 137\text{ Bq/kg-fresh}$), $12.0\sim 15.3\text{ mBq/kg-fresh}$ (평균 $13.5\pm 1.7\text{ mBq/kg-fresh}$), $1.59\sim 1.97\text{ mBq/kg-fresh}$ (평균 $1.78\pm 0.19\text{ mBq/kg-fresh}$) 및 $<12.1\sim 84.8\text{ mBq/kg-fresh}$ (평균 $49.5\pm 27.7\text{ mBq/kg-fresh}$) 였다. 패류 및 해조류에서 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비 평균은 0.228 ± 0.008 과 0.229 ± 0.008 범위는 각각 $0.218\sim 0.238$ 과 $0.220\sim 0.236$ 이었다.

2022년 우리나라 주변 해역에서 채취한 해양환경시료 중 인공방사성핵종의 농도범위 및 동위원소비의 범위는 과거 5년간 조사된 농도와 비슷한 수준을 나타내었으며 특이한 점은 없었다. 다만, 낮은 농도로 검출된 ^{137}Cs , ^{90}Sr , Pu 등은 과거 핵실험에 기인한 것으로 추정된다.

SUMMARY

The aims of the marine environmental radioactivity survey is to protect the public health and preserve the environment from radiological accident by evaluation of the distribution and change of marine environmental radioactivity concentrations of Korea. The Korea Institute of Nuclear Safety (KINS) investigated ^{137}Cs , ^3H , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ and the Pu isotope ratio ($^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$) in seawater, sediments and marine biota collected by National Institute of Fisheries Science (NIFS) from the sea of Korea in accordance with Article 105 of the Nuclear Safety Act. Marine environmental radioactivity survey in surface seawater has been investigated twice a year at 21 to 22 stations of sea of Korea since 1994. The seawater in the specific layer at 6 stations and sediments at 15 were collected once a year, and marine biota (fish, shellfish, seaweed) were collected biannually for radioactivity concentrations and Pu isotope ratio analysis. After the Fukushima nuclear power plant accident in Japan, marine environmental radioactivity survey was strengthened with increased sampling frequency and area for seawater and fish.

As analytical results of ^{137}Cs , ^3H , ^{90}Sr , and $^{239+240}\text{Pu}$ in seawater at 34 stations around the Korean Peninsular, the concentrations of all radionuclides in 2022 are in the range of ^{137}Cs 0.843~2.26 mBq/kg (average 1.37 ± 0.21 mBq/kg), ^3H 0.0779~0.451 Bq/L (average 0.193 ± 0.070 Bq/L), ^{90}Sr 0.319~0.889 mBq/kg (average 0.487 ± 0.135 mBq/kg), $^{239+240}\text{Pu}$ 2.12~6.35 $\mu\text{Bq/kg}$ (average 4.26 ± 1.22 $\mu\text{Bq/kg}$). The isotopic ratios ($^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$) ranged from 0.199 to 0.243 (average 0.229 ± 0.010). The vertical profiles of radionuclides concentrations of the seawater are homogeneous in the West Sea and South Sea. However, the concentrations of ^{137}Cs were decreased from the 500 m below the mixed layer (200 m) in the East Sea. Meanwhile, $^{239+240}\text{Pu}$ concentration was increased with depth in the East Sea, but almost no change below 1,000 m in depth.

The concentrations of ^{137}Cs , ^{40}K , ^{90}Sr and $^{239+240}\text{Pu}$ in the sediments are in the range of <0.475~3.16 Bq/kg-dry (average 1.40 ± 0.69 Bq/kg-dry), 439~864 Bq/kg-dry (average 759 ± 99 Bq/kg-dry), <0.106~0.575 Bq/kg-dry (average 0.233 ± 0.185 Bq/kg-dry), 0.0912~0.935 Bq/kg-dry (average 0.513 ± 0.358 Bq/kg-dry), and the range isotopic ratio of $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ is 0.200~0.243 (average 0.225 ± 0.016), respectively.

The concentrations of ^{137}Cs , ^{40}K , ^{90}Sr and $^{239+240}\text{Pu}$ in the fish are in the range of <13.1~177 mBq/kg-fresh (average 68.7 ± 40.0 mBq/kg-fresh), 21.9~122 Bq/kg-fresh (average 73.7 ± 21.6 Bq/kg-fresh), below the Minimum Detectable Activity (MDA, <6.09 mBq/kg-fresh), and <0.0335 mBq/kg-fresh, respectively. The concentrations of ^{137}Cs in all shellfish are below the MDA (<11.1 mBq/kg-fresh). ^{40}K , ^{90}Sr and $^{239+240}\text{Pu}$ activity concentration are in the range 17.0~92.7 Bq/kg-fresh (average 51.4 ± 23.2 Bq/kg-fresh), below the MDA (<2.98 mBq/kg-fresh) and 1.60~2.92 mBq/kg-fresh (average 2.24 ± 0.66 mBq/kg-fresh), respectively. ^{137}Cs concentrations in all seaweed are below the MDA (<15.5 mBq/kg-fresh). ^{40}K , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ and ^{131}I in algae are in the range of 7.53~382 Bq/kg-fresh (average 183 ± 137 Bq/kg-fresh), 12.0~15.3 mBq/kg-fresh (average 13.5 ± 1.7 mBq/kg-fresh), 1.59~1.97 mBq/kg-fresh (average 1.78 ± 0.19 mBq/kg-fresh) and <12.1~84.8 mBq/kg-fresh (average 49.5 ± 27.7 mBq/kg-fresh). The range isotopic ratio of $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ in shellfish and seaweed are 0.218~0.238 (average 0.228 ± 0.008) and 0.220~0.236 (average 0.229 ± 0.008), respectively.

The ^{137}Cs , ^{90}Sr and Pu radioactivity concentrations found in some samples are originated from nuclear weapon test in the past, which similar to the global fallout level found in the environment. There is no significant change of marine environmental radioactivity survey results in 2022 and consistent with those of the last five years.

그 림 목 차

그림 2.1-1 해수 조사정점	9
그림 2.1-2 해저퇴적물 조사정점	9
그림 2.2 표층 해수의 연도별 ^{137}Cs 방사능농도 변동	15
그림 2.3 표층 해수의 연도별 ^3H 방사능농도 변동	22
그림 2.4 표층 해수의 연도별 ^{90}Sr 방사능농도 변동	24
그림 2.5 표층 해수의 연도별 $^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도 변동	26
그림 2.6 표층 해수의 핵종별 연평균 방사능농도 변화	28
그림 2.7 동해(105-11, 106-05) 수심별 ^{137}Cs , ^3H , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ 분포	32
그림 2.8 남해(313-09, 314-01) 수심별 ^{137}Cs , ^3H , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ 분포	33
그림 2.9 서해(307-09, 311-09) 수심별 ^{137}Cs , ^3H , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ 분포	34
그림 2.10 해양생물 조사정점	37
그림 2.11 어류 조사정점(연중)	37
그림 3.1 해수방사능감시망 감시지점	52
그림 3.2 해수방사능감시망 운영 체계도	54

표 목 차

표 2.1 해양방사능 조사내용	8
표 2.2 표층 해수의 ^{137}Cs 방사능농도 (28개 정점)	16
표 2.3 제주남방해역 감시강화 표층 해수의 ^{134}Cs 및 ^{137}Cs 방사능농도(4개 정점)	17
표 2.4 울릉도 부근 감시강화 표층 해수의 ^{134}Cs 및 ^{137}Cs 방사능농도(2개 정점)	21
표 2.5 표층 해수의 ^3H 방사능농도	23
표 2.6 표층 해수의 ^{90}Sr 방사능농도	25
표 2.7 표층 해수의 $^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도 및 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비	27
표 2.8 표층 해수의 핵종별 방사능농도 범위	28
표 2.9 수심별 해수의 ^{137}Cs 및 ^3H 방사능농도	30
표 2.10 수심별 해수의 ^{90}Sr 방사능농도	31
표 2.11 수심별 해수의 $^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도 및 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비	31
표 2.12 해저퇴적물의 ^{137}Cs , ^{40}K 방사능농도	35
표 2.13 해저퇴적물의 ^{90}Sr 방사능농도	36
표 2.14 해저퇴적물의 $^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도 및 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비	36
표 2.15 어류의 ^{137}Cs 방사능농도	38
표 2.16 어류의 ^{40}K 방사능농도	39
표 2.17 어류의 ^{90}Sr 방사능농도	40
표 2.18 어류의 $^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도	40
표 2.19 어류의 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비	40
표 2.20 어류의 ^{137}Cs 및 ^{40}K 방사능농도 (연중)	41
표 2.21 두족류, 절지동물의 ^{137}Cs 및 ^{40}K 방사능농도 (연중)	43
표 2.22 패류의 ^{137}Cs 방사능농도	44
표 2.23 패류의 ^{40}K 방사능농도	44
표 2.24 패류의 ^{90}Sr 방사능농도	45
표 2.25 패류의 $^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도	45
표 2.26 패류의 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비	45
표 2.27 해조류의 ^{137}Cs 방사능농도	46
표 2.28 해조류의 ^{40}K 방사능농도	47
표 2.29 해조류의 ^{90}Sr 방사능농도	47
표 2.30 해조류의 $^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도	47
표 2.31 해조류의 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비	48
표 2.32 해조류의 ^{131}I 방사능농도	48
표 3.1 해수방사능감시망 감시지점	51
표 3.2 해수방사능감시기 사양	52

I. 서론

I. 서론

해양환경방사능 감시는 원자력안전법 제105조(전국 환경방사능 감시)에 따라 우리나라 해양환경방사능 준위분포 및 변동의 추이를 분석하여 국내·외에서 방사선사고 발생시 우리나라 주변 해양환경에 미치는 방사능 영향을 확인하여 국민의 건강과 환경을 보전하는 데 목적이 있다.

1993년 러시아의 백서를 통하여 구소련의 방사성폐기물의 해양 투기 사실이 밝혀졌다. 동해를 비롯한 오호츠크해에 1966년부터 1991년까지 액체 방사성폐기물(456 TBq) 및 고체 방사성폐기물(225 TBq)이 투기되었다. 이 사건을 계기로 우리나라 주변 해역에 대한 체계적인 방사능 감시의 필요성이 제기됨에 따라, 한국원자력안전기술원은 1994년부터 우리나라 주변 해역 21~22개 정점의 표층 해수에 대한 방사능농도 및 Pu 동위원소비의 변동을 연 2회 조사하였고, 수심별 해수는 6개 정점, 해저퇴적물은 15개 정점에서 연 1회, 해양생물은 연 2회 조사를 수행하였다. 해양환경 전반에 대한 방사능감시를 목적으로 2005년부터 수심별 해수, 해저퇴적물, 해양생물을 조사대상에 포함하여 방사능감시를 확대하였다.

2011년 일본 후쿠시마 원전 사고의 영향으로 다량의 방사성물질이 해양으로 방출됨에 따라 우리나라 주변 해역의 방사능 오염 가능성에 대한 국민들의 관심이 증가하였다. 일본 후쿠시마 원전 사고에 따른 우리나라 주변 해역의 영향 확인을 위해 2011년 이후 조사주기를 단축하고 조사범위를 제주남방 해역을 포함한 배타적 경제수역까지 확대하여 강화된 해양환경 방사능감시를 수행하고 있다. 또한 일본원전 오염수 해양 유출 보도 이후 2013년 9월부터 제주 남방 해역 및 울릉도 주변 해역 정점의 조사주기를 추가로 단축하여 강화된 해양환경 방사능조사를 수행하고 있다. 또한, 일본 후쿠시마 원전 사고 이후 해양 방사능감시를 강화하여 해수 조사 빈도 증가 및 조사범위를 확대하였으며, 어류조사 범위도 확대하였다.

보고서 제2장은 2022년 우리나라 주변 해역 34개 정점에서 채수한 표층 해수 시료를 비롯하여 수심별 해수, 해저퇴적물, 어류, 패류, 해조류 시료에 대한 방사능분석을 수행한 결과를 수록하였고, 제3장에는 해양방사능 감시활동과 별도로 원자력발전소 사고 등으로 인한 세슘의 특이변화 모니터링을 위한 해수방사능감시망 운영 결과를 수록하였다.

해수, 해저퇴적물, 해양생물 시료의 방사능농도 평가를 위한 기초자료 확보를 위해 해양환경의 물리·화학적 환경요인인 수온, 염분, 영양염 및 부유물질의 조사와 퇴적물 입도 분석을 수행하여, 그 결과를 부록 1에 수록하였고, 후쿠시마 원전 사고이전부터 운영한 22개 정점 기준 '22년 표층해수의 방사능농도는 부록 2에 수록하였다.

II. 해양방사능 조사

II. 해양방사능 조사

1. 조사목적 및 조사계획

1.1 조사목적

한국원자력안전기술원은 1994년부터 우리나라 주변 해역에서 평상시 방사능자료를 확보하여 방사선사고 발생 시 오염 여부를 신속히 판단하기 위한 목적으로 표층 해수의 방사능분석을 수행하고 있다. 2005년부터 해양 전반에 걸친 방사능감시를 목적으로 동·서·남해의 수심별 해수, 해양생물(어류, 패류, 해조류) 및 해저퇴적물을 조사항목에 포함하였다. 2011년 일본 후쿠시마 원전 사고의 국내 영향 확인을 위해 표층 해수의 방사능조사 정점과 조사주기를 확대하였고, 2013년 일본 오염수 해양 유출 보도에 따라 울릉도 부근 해역과 제주도 남방 해역을 중심으로 조사지점을 확대하여 현재 34개 정점의 방사능조사를 수행하고 있다. 2020년 일본 후쿠시마 원전 사고 오염수 해양 방출에 대비하여 주요 유입지점인 제주 남방 해역과 울릉도 부근의 삼중수소 감시주기를 연 4회로 확대하였으며, 2022년부터는 모든 정점에서 연 4회 수행하고 있다.

축적된 해양환경 방사능 조사 자료는 국내 원자력이용시설 뿐만 아니라 국외에서 발생 가능한 방사선사고로 인해 우리나라 주변 해역에 미치는 영향 여부를 판단하기 위해 활용될 수 있다.

1.2 조사계획

우리나라 주변 해역에 대한 환경방사능 감시를 위하여 1994년부터 우리나라 연근해 해양환경 조사 정선의 각 1개 이상의 정점을 선정하고, 국립수산물과학원 협조로 채취된 표층 해수를 제공받아 해수 방사능분석을 수행하였다. 2005년부터는 해양환경 전반에 대한 방사능조사를 위해 수심별 해수, 해양생물(어류, 해조류, 패류) 및 해저퇴적물 시료를 확보하여 해양환경 방사능을 분석하고 있으며, 동 정점에서 해양환경(물리학적, 화학적, 생물학적, 지질학적) 조사를 국립수산물과학원에 위탁하여 환경방사능조사 결과 평가에 이용하였다.

또한, 일본원전 사고 이후 조사범위 확대에 따라 해수는 동중국해 해역까지, 어류는 배타적 경제수역 내 전해역까지 조사해역을 확대하여 방사능을 조사하였고, 조사주기 단축에 따라 해수 중 방사성세슘의 조사주기를 평상시 연 2회에서 연 6회로 확대하였고, 어류는 연중 조사하였다.

일본원전 오염수 해양유출에 대비하여 우리 정부는 일본 방사능 안전관리 대책회의(2013년 8월 23일)에서 원자력안전위원회가 해양수산부로부터 채수를 협조 받아 해수 중 방사능을 조사하기로 하였다. 이에 따라 한국원자력안전기술원은 2013년 9월부터 제주 남방해역 4개 정점에서 월 2회, 동해 중부 울릉도 부근 2개 정점에서 월 1회, 해수 중

방사능조사를 수행하였다. 2022년도 감시대상 시료별 조사내용은 표 2.1과 같으며, 해수 및 해저퇴적물의 조사정점은 그림 2.1-1 및 그림 2.1-2와 같다.

표 2.1 해양방사능 조사내용

구분	감시대상	분석항목	감시주기	정점수
해수	표층해수	^{137}Cs	매월 ¹⁾	34
		^3H	매분기	34
		$^{239+240}\text{Pu}$, $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$	연 1회	22
		^{90}Sr	연 1회	16
	수심별 해수	^{137}Cs	반기	6
		^3H	연 1회	6
		^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$	연 1회	3
해양 생물	어류	^{137}Cs , ^{40}K	반기	80
		^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$	연 1회	3
	패류	^{137}Cs , ^{40}K	반기	7
		^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$	연 1회	3
	해조류	^{137}Cs , ^{40}K , ^{131}I	반기	7
		^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$	연 1회	3
퇴적물	해저퇴적물 0-5 cm	^{137}Cs , ^{40}K	연 1회	15
		^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$	연 1회	6

1) 제주남방해역 4개 정점(314-03, 314-08, 315-13, 315-18) 월 2회 조사, 울릉도 부근 2개 정점(104-11, 105-11)은 월 1회 조사, 그 외 정점은 연 6회 조사

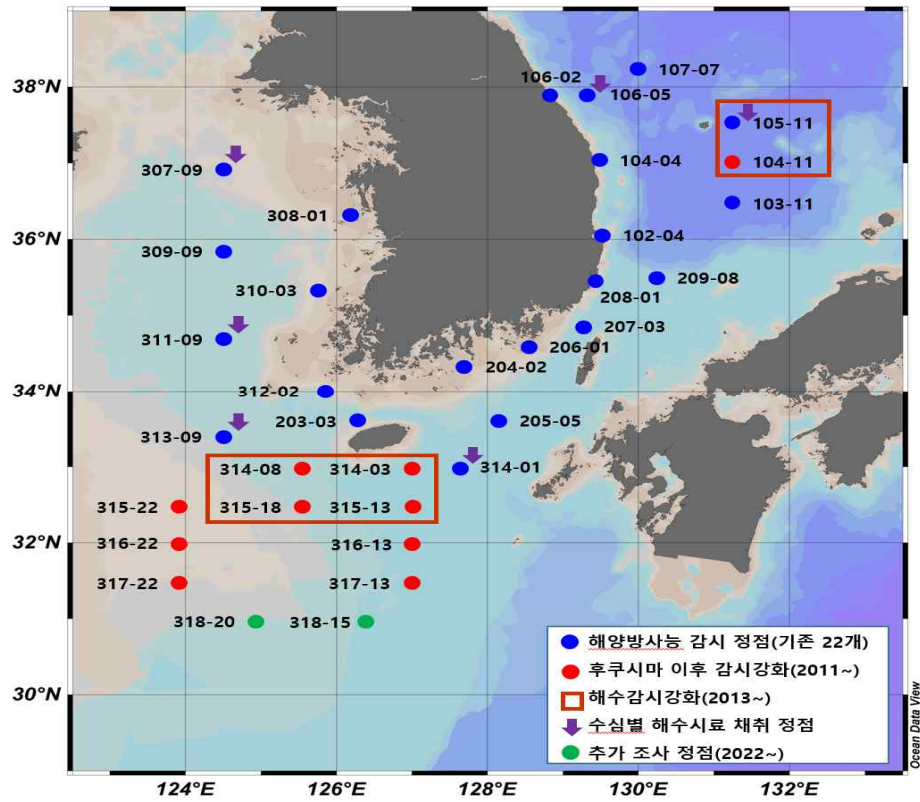


그림 2.1-1 해수 조사정점

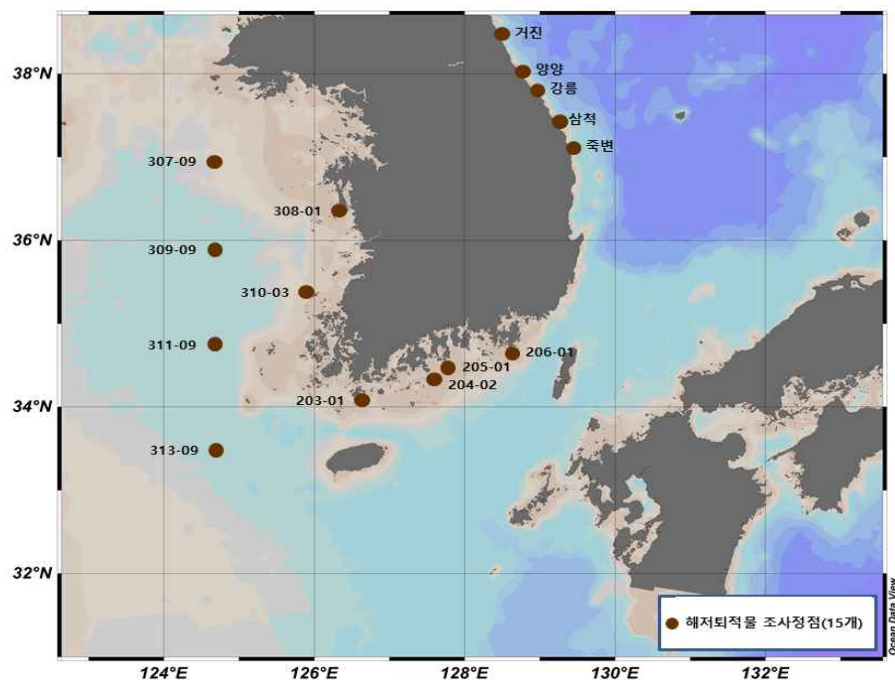


그림 2.1-2 해저퇴적물 조사정점

2. 조사 및 분석방법

2.1 조사방법

각 조사정점에서 채수한 해수 중 80 kg은 감마핵종, ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ 및 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 분석용으로서 플라스틱 용기 벽에 방사성물질이 흡착되는 것을 방지하기 위해 해수 1 kg 당 염산 1 ml를 혼합하고, ^3H 분석용 해수 2 L는 별도의 플라스틱 용기에 옮긴 뒤 실험실로 운반하였다. 실험실로 운반된 해수시료는 분석대상 핵종에 따라 각각 정해진 방법으로 전처리 후 방사능농도를 계측하였다. 해저퇴적물 시료는 채니기를 이용하여 채취하였다. 어류는 조사선의 트롤을 이용해 직접 채집하거나 어선에서 어획하여 공동위판장에서 위판되는 시료를 구입하였으며, 패류 및 해조류는 공동위판장에서 생산지 확인 후 구입하였다. ^{137}Cs 등 검출목표치를 만족할 수 있도록 각 지점별 어류 및 해조류 15 kg, 패류 60~100 kg을 확보하여 가식부위만을 분리하여 이용하였다.

2.2 분석방법

가. 감마핵종(^{137}Cs 등)

1) 해수

해수 60 kg을 채수한 후 실험실에서 해수 중에 포함된 부유물을 여과지(pore size $1\ \mu\text{m}$)를 이용하여 제거하였다. 해수에 염산을 첨가하여 pH를 2.0 이하로 낮춘 후 1 kg당 AMP (Ammonium phosphomolybdate) 0.5 g을 첨가하고 ^{137}Cs 이 AMP에 충분히 흡착되도록 1시간 동안 교반한 다음 하루 동안 방치하였다. 상등액을 제거하고 비이커를 이용하여 침강한 AMP를 일부 해수와 함께 회수하였다. 회수된 AMP는 2차 필터링(pore size $1\ \mu\text{m}$) 장비 및 아스피레이터(Aspirator)를 이용하여 잔여 해수가 제거된 AMP를 건조($105\ ^\circ\text{C}$)하였다. 건조된 AMP는 감마계측용 용기(D6H4)에 넣은 후 감마선 분광분석시스템 (HPGe Gamma Spectrometry System)으로 계측하였다. 이때 화학적 회수율은 첨가시킨 AMP와 회수된 AMP의 무게비를 이용하여 계산하였다.

2) 해저퇴적물

채취한 해저퇴적물 시료를 실험실로 운반한 후 무게를 측정하고 건조기에서 24시간 건조하였다. 건조 후 중량을 측정하여 수분율을 구하고, 시료를 막자사발로 충분히 분쇄한 후 1 mm 망목의 체(sieve)로 퇴적물 입자의 크기를 선별하였다. 1 mm 망목을 통과한 퇴적물을 넓은 종이 위에 가능한 한 평평하게 펼쳐놓고 우물정(井)자 모양으로 9등분하여 각 부분에서 일정량을 취하여 혼합하였다. 혼합된 시료를 측정용기에 넣고 시료 높이와 시료 무게를 기록한 후 감마선 분광분석시스템으로 계측하였다.

3) 해양생물

채취한 해양생물 시료를 실험실로 운반한 후 정확한 생체중량을 측정한 다음 세척 후 가식부위를 분리하여 중량을 측정한 뒤 건조기에서 약 105 °C로 건조시켰다. 해조류는 시료 중량을 측정한 뒤 세척 후 건조하여 다시 중량 측정하고 수분율을 구한다. 건조된 시료 일부를 마리넬리 용기에 채운 후 감마선 분광분석시스템을 이용하여 ^{131}I (반감기 8일) 분석을 우선 수행하였다.

건조한 시료를 회화(탄화)용 도가니에 담은 후 ^{137}Cs 이 손실되지 않도록 전기로 내부 온도를 450 °C 미만으로 설정하여 회화하였다. 먼저 150 °C에서 약 2시간 정도의 건조 단계를 거치고, 300 °C에서 2시간 정도의 탄화단계를 거친 후 450 °C내에서 완전 회화 단계를 거치는 순으로, 가능한 완전한 회화와 불꽃에 의한 시료의 손실이 없도록 하였다. 회화한 시료의 무게를 다시 측정하여 회분율을 계산하였다. 이와 같이 회화된 시료를 D6H4 용기에 충전한 후 감마선 분광분석시스템으로 계측하였다.

나. 삼중수소(^3H)

1) 해수

해수 중 삼중수소 분석은 일반 환경시료와 달리 농도가 매우 낮아 시료를 증류한 후 직접 측정하는 방법으로는 계측이 매우 어렵다. 따라서 본 조사에서는 극저준위의 삼중수소를 계측하기 위해 니켈-니켈형 전극을 이용한 전해농축장치를 사용하였다.

해수시료 1 L를 증류용기에 옮기고 소량의 과망간산칼륨(KMnO_4)을 넣어 증류한 후 증류액에 질산은(AgNO_3) 용액을 떨어뜨려 증류액 중 Cl^- 이온의 존재여부를 확인하여 증류액에 Cl^- 이온이 존재하지 않을 때까지 반복 증류하였다. 증류된 용액 800 ml를 전해 cell에 넣고 Na_2O_2 분말, 약 8 g을 가하여 완전히 용해시킨 후 전해 액량이 약 40 ml가 될 때까지 서서히 전해농축을 실시하였다. 전해농축이 완료된 시료는 다시 증류한 후 증류액 10 ml를 20 ml 테프론 용기에 분취하고 섬광체(Ultima Gold LLT Scintillation Cocktail) 10 ml를 첨가하여 잘 혼합한 후 계측기 내 냉암소에서 하루 동안 보관한 뒤 극저준위 액체섬광계수기를 이용하여 시료 당 500분간 계측한 후 삼중수소 농도를 계산하였다.

다. 방사성스트론튬(^{90}Sr)

1) 해수

여과된 해수 40 kg는 ^{90}Sr 분석용 시료로 준비하였다. 준비된 시료는 양이온교환수지(Dowex 50W-X8, 9×26 cm)로 1차 분리하여, 분리된 용액은 탄산염침전 형태로 회수하였다. 회수된 침전은 염산으로 용해하여 양이온교환수지(Dowex 50W-X8, 3×26 cm)로 Sr을 2차 순수분리하였다. 분리된 용액내 Sr을 SrCO_3 침전으로 만든 후 발연질산을 이용하여 $\text{Sr(NO}_3)_2$ 침전으로 회수하였다. 이 침전을 테프론 용기에 옮겨 건조한 후

화학회수율을 측정한 후, 약 질산을 첨가하여 14일 이상 방치하였다. ^{90}Sr 과 ^{90}Y 간의 방사평형이 도달한 후 극저준위 액체섬광계수기(LSC)를 이용하여 계측하였다.

2) 해저퇴적물

건조한 해저퇴적물 각 70 g을 전기로에 넣은 후 480 °C에서 24시간 동안 회화시켜 유기물을 제거하였다. 기지농도의 안정 $\text{Sr}^{(88}\text{Sr})$ 일정량을 화학회수율 담체로 시료에 첨가하고, 진한 염산을 이용하여 해저퇴적물 입자로부터 Sr을 추출하였다. 추출한 여액에 수산화나트륨(NaOH)과 탄산나트륨(Na_2CO_3)를 넣어 탄산염 침전($\text{Sr}(\text{Ca})\text{CO}_3$)을 만들고 원심 분리하여 회수하였다. 탄산염 침전은 염산으로 완전히 용해한 후 옥살산과 암모니아수를 이용하여 pH 4.2에서 스트론튬(칼슘)옥살레이트($\text{Sr}(\text{Ca})\text{-oxalate}$) 침전을 만들었다. 침전물에 강염산을 첨가하여 완전 용해한 후 암모니아수를 이용하여 염산농도를 0.4 M로 조정하고, 이를 양이온교환수지 (CGC 100X8, 5×26 cm)에 주입하여 Sr을 순수 분리하였다. 분리용액으로부터 탄산염침전과 발연질산을 이용한 질산염($\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$) 침전을 순차적으로 만들어 Ca 존재여부를 확인 및 화학회수율을 측정하였다. 순수 분리된 Sr은 1+100 HNO_3 으로 녹인 다음 테프론 용기에서 14일 이상 보관하여 ^{90}Sr 과 ^{90}Y 간의 방사평형이 도달하게 한 후, 이들로부터 방출되는 체렌코프광을 극저준위 액체섬광계수기(LSC)를 이용하여 계측하였다.

3) 해양생물

^{137}Cs 분석이 끝난 해양생물(어류, 패류, 해조류) 회분시료 20 g을 비이커에 옮겨 기지농도의 안정 $\text{Sr}^{(88}\text{Sr})$ 일정량을 화학회수율 담체로 시료에 첨가하였다. 불산, 왕수, 발연질산, 과산화수소 등을 반복처리하여 무기물의 회분시료를 흰색 건고물로 만든 후 여기에 강염산을 첨가하여 완전분해된 투명한 용액을 얻었다. 산 용해액에 옥살산과 암모니아를 넣어 pH 4.2에서 스트론튬(칼슘)옥살레이트($\text{Sr}(\text{Ca})\text{-oxalate}$) 침전을 만들었다. 이하 분리 및 계측까지의 과정은 해저퇴적물 시료와 동일하다.

라. 플루토늄($^{239+240}\text{Pu}$) 및 플루토늄 동위원소비($^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비)

1) 해수

해수 약 20 L를 여과하여 입자성 물질을 제거한 후, 철 담체 및 Pu 추적자(^{242}Pu)를 첨가하였다. 철 담체와 Pu 추적자(^{242}Pu)가 해수에 고루 섞이도록 30분간 충분히 교반하였다. 교반 상태를 유지하면서 암모니아수를 이용하여 pH를 8.2까지 올려 수산화철 침전이 생성됨과 동시에 Pu가 함께 공침되도록 하고 1시간 더 교반한 후, 침전이 가라앉도록 하루 정도 방치하였다. 상등액과 분리된 철 침전을 5 L 비커에 옮기고, 이를 가스버너에서 가열하면서 pH를 8로 조정된 뒤 냉각하여 침전을 가라앉힌 후 상등액을 분리하였다. 유리섬유여과지(GF/C)를 이용하여 침전을 여과하고, 여과지에 남은 침전은

염산으로 녹여 회수한다. 회수된 침전은 암모니아수를 이용하여 2차 철침전을 만든 뒤 이를 원심분리 후 질산을 이용해서 녹인다. 여기에 아스코르브산(ascorbic acid) 약 40 mg을 첨가한 후 강질산을 첨가하여 질산농도를 8M로 조정한 후 TEVA-Spec. 수지가 채워진 컬럼을 이용하여 Pu를 1차 순수 분리하였다.

1차로 순수 분리된 Pu 용액(0.5M HCl + 0.01M HF)에 철 담체 소량을 첨가하고 암모니아수를 이용하여 3차 철 침전을 만든 뒤 2차 철 침전과 동일한 방법으로 철 침전을 회수한 후 아스코르브산 및 강질산을 이용해 2차 순수 분리용 시료를 준비하였다. 1차 분리보다 작은 용량의 컬럼에 TEVA-Spec. 수지를 채워 Pu를 2차 순수 분리하였다.

최종 분리된 Pu 용액은 탈용매화 장치가 장착된 시료주입장치(ARIDUS-II, Cetac Technologies, USA)를 통해 다중채널검출기 유도결합플라즈마질량분석기(MC-ICP-MS, NEPTUNE, Thermo Scientific, Germany)에 주입하여 $^{239+240}\text{Pu}$ 의 방사능농도와 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비를 동시에 측정하였다. $^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도는 MC-ICP-MS로부터 측정된 결과인 ^{239}Pu 및 ^{240}Pu 각각의 방사능농도를 합산하여 산출하였고, $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비는 $^{240}\text{Pu}/^{242}\text{Pu}$ 및 $^{239}\text{Pu}/^{242}\text{Pu}$ 각각의 동위원소비로부터 산출하였다.

2) 해저퇴적물

건조된 해저퇴적물 약 4 g을 도가니에 취하여 500°C 전기로에서 8시간 이상 회화시켜 유기물을 완전히 분해한 뒤 시료를 비커에 옮기고 Pu 추적자(^{242}Pu)를 첨가한 후, 가열판 위에서 8M 질산을 이용하여 Pu를 산 추출하였다. 증발농축 후 최종 질산 농도가 8M이 되도록 하고 주사형여과기(syringe filter, pore size 0.45 μm)를 이용하여 여과하고 해수 시료와 같은 방법으로 2차에 걸쳐 Pu를 순수 분리해 낸 후, MC-ICP-MS로 측정하여 $^{239+240}\text{Pu}$ 의 방사능농도 및 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비를 산출하였다.

3) 해양생물

회화된 생물시료 약 10 g을 비커에 옮겨 Pu 추적자(^{242}Pu)를 첨가한 후 왕수 50 ml를 넣고 시계접시를 덮고 보온에서 3시간 정도 가열한 후 완전 건고시킨다. 건고물에 다시 발연질산 50 ml를 넣고 시계접시를 덮은 상태에서 4시간 정도 보온으로 가열한 후 시계접시를 제거하고 과산화수소를 소량 첨가하면서 유기물을 분해하였다.

증발건고 후 유기물이 완전히 분해되지 않았을 경우에는 발연질산 처리를 반복하고, 유기물이 완전히 분해되었을 경우에는 진한 염산을 시료 상태에 따라 양을 적절히 조절하여 200~500 ml 정도 넣고 고온에서 가열하여 남아있는 흰색 잔유물을 분해시켰다. 만약 미세한 검은빛 잔유물이 남아있을 경우에는 잔유물이 가라앉도록 방치한 다음, 상등액은 보관하고 남아있는 잔유물을 테프론 비커에 옮겨 건고시킨 후 불산 처리하여 완전히 분해시켰다.

완전분해 후 진한 염산으로 잔유물을 분해하여 보관하고 있던 염산 상등액에 합하여

5 L 비커에 옮기고 3 L가 되도록 증류수를 채운 후, 가열하면서 옥살산을 첨가하고 암모니아수를 이용하여 pH가 4.2가 되도록 맞추어 흰색 옥살산염 침전을 생성시켰다. 여과지 (5 C)를 이용하여 침전을 여과한 후, 상등액은 버리고 침전을 회수하여 회화로에서 회화한 후 증류수와 8M 질산을 이용하여 침전을 용해시켰다. 완전용해 후 철 담체를 첨가하고, 암모니아수를 이용하여 pH 8.0에서 수산화철 침전을 생성시킴과 동시에 Pu이 공침되도록 하여 여과한 후 철 침전을 회수하였다.

침전을 진한 질산으로 분해하여 비커에 옮겨 증발 건조 시킨 후, 최종 질산농도가 8 M이 되도록 하여 주사형 여과기를 이용하여 여과하고 아스코르브산 처리를 하여 분리용 시료를 준비한 후, 해수시료와 같은 방법으로 2차에 걸쳐 Pu을 순수 분리하였다. 최종 용액은 MC-ICP-MS로 계측하여 $^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도 및 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비를 산출하였다.

3. 조사결과 및 평가

3.1 표층 해수

가. 연도별 방사능농도

1) ^{137}Cs 방사능농도

우리나라 주변 해역 34개 정점의 2022년도 표층 해수의 ^{137}Cs 방사능농도 범위는 0.843~2.26 mBq/kg(연평균 1.37 ± 0.21 mBq/kg)로, 과거 5년(2017년~2021년) 농도범위인 <0.821~2.43 mBq/kg(평균 1.48 ± 0.25 mBq/kg)와 비슷한 수준이었다(표 2.2~2.4). 이는 후쿠시마 원전 사고 이전(2006년~2010년) 농도범위인 <1.19~4.04 mBq/kg에 비해 낮은 수준이었다. 표층해수의 연도별 ^{137}Cs 방사능농도 변동 추이는 그림 2.2와 같다.

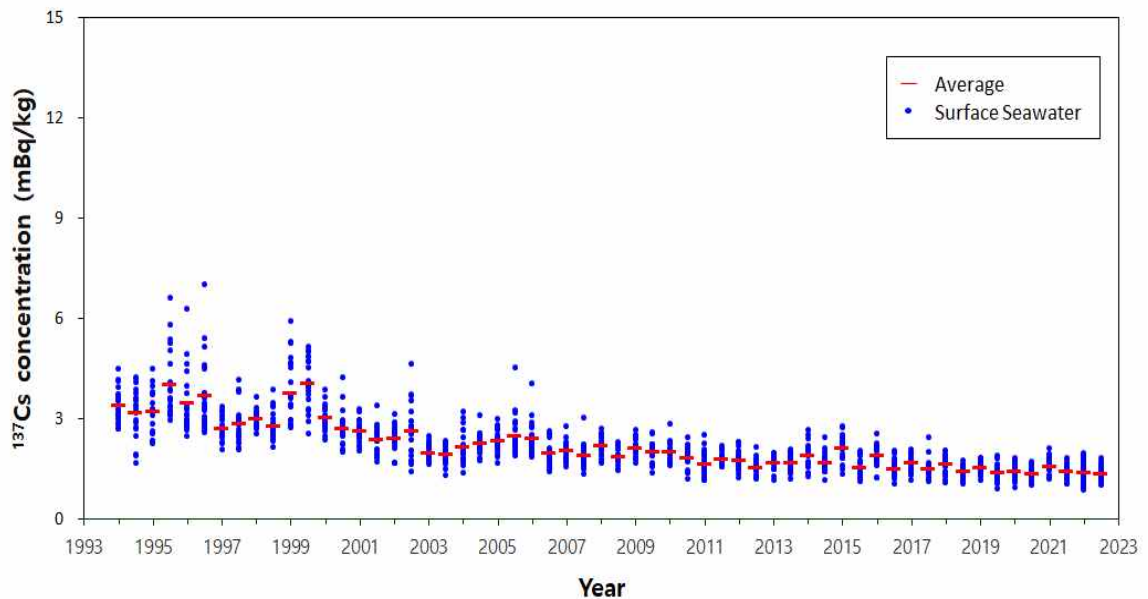


그림 2.2 표층 해수의 연도별 ^{137}Cs 방사능농도 변동

표 2.2 표층 해수의 ^{137}Cs 방사능농도 (28개 정점)

구분	조사 정점	^{137}Cs 방사능농도 (mBq/kg)						
		2022년						2017년~2021년
		1차 조사	2차 조사	3차 조사	4차 조사	5차 조사	6차 조사	
동해	107-07	1.34 ± 0.14	1.68 ± 0.17	1.34 ± 0.13	1.48 ± 0.15	1.41 ± 0.14	1.46 ± 0.14	1.21 ~ 2.09
	106-02	1.63 ± 0.15	1.44 ± 0.16	1.12 ± 0.15	1.37 ± 0.14	1.50 ± 0.16	1.24 ± 0.13	1.07 ~ 1.88
	106-05	1.47 ± 0.13	1.39 ± 0.14	1.31 ± 0.15	1.50 ± 0.14	1.20 ± 0.13	1.45 ± 0.14	1.18 ~ 1.86
	104-04	1.63 ± 0.15	1.58 ± 0.15	1.14 ± 0.14	1.24 ± 0.15	1.56 ± 0.15	1.69 ± 0.14	1.27 ~ 2.21
	103-11	1.68 ± 0.17	1.52 ± 0.13	1.25 ± 0.13	1.57 ± 0.15	1.34 ± 0.15	1.37 ± 0.14	<1.14 ~ 2.04
	102-04	1.94 ± 0.16	1.58 ± 0.15	1.70 ± 0.17	1.55 ± 0.16	1.54 ± 0.15	1.35 ± 0.14	1.17 ~ 1.92
	209-08	1.44 ± 0.14	1.30 ± 0.14	1.21 ± 0.15	1.45 ± 0.17	1.63 ± 0.15	1.71 ± 0.15	<0.842 ~ 2.02
	208-01	1.53 ± 0.15	1.16 ± 0.14	1.51 ± 0.14	1.44 ± 0.15	1.46 ± 0.14	1.46 ± 0.15	1.23 ~ 2.40
남해	207-03	1.72 ± 0.15	1.21 ± 0.13	1.52 ± 0.15	1.08 ± 0.13	1.32 ± 0.14	1.79 ± 0.15	1.08 ~ 2.04
	206-01	1.59 ± 0.15	1.34 ± 0.14	1.33 ± 0.15	1.45 ± 0.15	1.53 ± 0.15	1.47 ± 0.15	1.12 ~ 1.84
	205-05	1.77 ± 0.15	1.24 ± 0.15	1.27 ± 0.13	1.10 ± 0.13	1.31 ± 0.14	1.41 ± 0.13	1.14 ~ 1.96
	204-02	1.42 ± 0.14	1.37 ± 0.16	1.27 ± 0.15	1.46 ± 0.15	1.40 ± 0.14	1.49 ± 0.15	<1.02 ~ 1.80
	203-03	1.38 ± 0.15	1.48 ± 0.15	1.32 ± 0.15	1.17 ± 0.15	1.52 ± 0.16	1.33 ± 0.15	0.919 ~ 2.09
	313-09	1.43 ± 0.16	1.43 ± 0.14	1.21 ± 0.15	1.18 ± 0.15	1.09 ± 0.15	1.63 ± 0.15	1.08 ~ 1.81
	314-01	1.52 ± 0.16	1.20 ± 0.14	1.21 ± 0.14	1.03 ± 0.12	1.43 ± 0.14	1.93 ± 0.18	0.892 ~ 2.13
	315-22	1.30 ± 0.14	1.35 ± 0.14	1.06 ± 0.14	1.20 ± 0.14	1.47 ± 0.14	1.61 ± 0.14	1.02 ~ 1.77
	316-13	1.28 ± 0.13	1.45 ± 0.16	1.25 ± 0.14	1.46 ± 0.16	1.60 ± 0.15	1.50 ± 0.14	1.05 ~ 1.89
	316-22	1.13 ± 0.15	1.22 ± 0.13	1.03 ± 0.14	1.23 ± 0.15	1.36 ± 0.14	1.22 ± 0.13	0.868 ~ 1.87
	317-13	1.21 ± 0.13	1.72 ± 0.17	1.11 ± 0.13	1.24 ± 0.14	1.44 ± 0.16	1.27 ± 0.14	0.890 ~ 1.80
	317-22	1.56 ± 0.16	1.34 ± 0.14	1.68 ± 0.15	1.09 ± 0.13	1.17 ± 0.14	1.46 ± 0.16	0.886 ~ 1.84
	318-15*	1.46 ± 0.14	1.40 ± 0.14	1.56 ± 0.15	1.32 ± 0.14	1.24 ± 0.14	1.27 ± 0.14	-*
	318-20*	1.18 ± 0.14	1.88 ± 0.16	1.06 ± 0.15	1.00 ± 0.13	1.23 ± 0.14	1.40 ± 0.14	-*
서해	312-02	1.42 ± 0.15	1.19 ± 0.13	1.19 ± 0.13	1.34 ± 0.14	1.33 ± 0.13	1.64 ± 0.15	1.02 ~ 2.43
	311-09	1.36 ± 0.13	1.29 ± 0.15	1.43 ± 0.14	1.32 ± 0.14	1.32 ± 0.13	1.08 ± 0.13	1.04 ~ <2.06
	310-03	1.34 ± 0.15	1.02 ± 0.13	1.37 ± 0.14	1.40 ± 0.15	1.31 ± 0.15	1.15 ± 0.12	0.828 ~ 1.62
	309-09	1.22 ± 0.13	1.30 ± 0.14	1.26 ± 0.13	1.36 ± 0.14	1.20 ± 0.14	1.40 ± 0.14	0.997 ~ 1.58
	308-01	1.12 ± 0.14	0.909 ± 0.127	1.38 ± 0.14	1.37 ± 0.15	1.03 ± 0.12	1.04 ± 0.13	<0.887 ~ 1.57
	307-09	1.21 ± 0.12	1.20 ± 0.14	1.36 ± 0.13	1.05 ± 0.13	1.11 ± 0.13	1.26 ± 0.13	1.07 ~ 1.63
평균 (범위)		1.37 ± 0.19 (0.909 ~ 1.94)						1.48 ± 0.26 (0.828 ~ 2.43)

< : 최소검출가능농도(MDA) 미만의 값

* : 2022년부터 농도분석 수행

표 2.3 제주남방해역 감시강화 표층 해수의 ^{134}Cs 및 ^{137}Cs 방사능농도(4개 정점)

채취 정점	조사 시기	채취일시	^{134}Cs 방사능농도 (mBq/kg)		^{137}Cs 방사능농도 (mBq/kg)		비고
			2022년	2017년 ~ 2021년	2022년	2017년 ~ 2021년	
제 주 남 방 해 역 (314-03)	1월	*	*	- (<0.458)	*	1.51±0.23 (0.927~2.22)	
		2022.01.27	<0.585		1.50±0.14		
	2월	2022.02.12	<0.724		1.55±0.16		
		2022.02.17	<0.757		1.54±0.16		
	3월	2022.03.19	<0.774		1.43±0.15		
		2022.03.25	<0.686		1.57±0.16		
	4월	2022.04.07	<0.697		1.42±0.15		
		2022.04.20	<0.773		1.34±0.14		
	5월	2022.05.12	<0.738		1.71±0.16		
		2022.06.05	<0.745		1.45±0.14		
	6월	2022.06.16	<0.751		1.34±0.15		
		2022.06.27	<0.644		0.966±0.132		
	7월	2022.07.11	<0.697		1.46±0.15		
		2022.07.24	<0.664		1.61±0.16		
	8월	2022.08.06	<0.703		0.896±0.134		
		2022.08.21	<0.696		0.895±0.128		
	9월	**	**		**		시료미채취
		2022.09.22	<0.751		1.40±0.14		
	10월	**	**		**		시료미채취
		2022.10.27	<0.714		1.51±0.16		
	11월	2022.11.09	<0.824		1.54±0.15		
		2022.11.18	<0.833		1.33±0.13		
	12월	2022.12.20	<0.851		1.15±0.13		
		2022.12.21	<0.695		1.19±0.15		
	평균 (범위)		- (<0.585)		1.37±0.23 (0.895~1.71)		

* : 조사선 운항계획 수립 전 시료채취 불가

** : 기상악화 등 원인으로 시료 채취 불가

< : 최소검출가능농도(MDA) 미만의 값

표 2.3 제주남방해역 감시강화 표층 해수의 ^{134}Cs 및 ^{137}Cs 방사능농도(4개 정점) [계속]

채취정점	조사 시기	채취일시	^{134}Cs 방사능농도 (mBq/kg)		^{137}Cs 방사능농도 (mBq/kg)		비고
			2022년	2017년 ~ 2021년	2022년	2017년 ~ 2021년	
제 주 남 방 해 역 (314-08)	1월	*	*	- (<0.648)	*	1.53 ± 0.23 (0.853~2.04)	
		2022.01.21	<0.806		1.85 ± 0.15		
	2월	2022.02.18	<0.665		1.87 ± 0.17		
		2022.02.25	<0.712		1.54 ± 0.15		
	3월	2022.03.01	<0.727		1.20 ± 0.14		
		2022.03.30	<0.829		1.29 ± 0.13		
	4월	2022.04.07	<0.793		1.65 ± 0.15		
		2022.04.18	<0.710		1.38 ± 0.15		
	5월	2022.05.13	<0.801		1.41 ± 0.13		
		2022.06.03	<0.646		1.37 ± 0.14		
	6월	2022.06.16	<0.889		1.27 ± 0.14		
		2022.06.24	<0.613		1.18 ± 0.14		
	7월	2022.07.09	<0.819		1.15 ± 0.12		
		2022.07.25	<0.772		1.26 ± 0.13		
	8월	2022.08.08	<0.769		1.20 ± 0.14		
		2022.08.18	<0.647		1.19 ± 0.15		
	9월	**	**		**		시료미채취
		2022.09.27	<0.630		1.14 ± 0.13		
	10월	**	**		**		시료미채취
		2022.10.22	<0.780		1.23 ± 0.13		
	11월	2022.11.10	<0.878		1.23 ± 0.13		
		2022.11.25	<0.736		1.57 ± 0.16		
	12월	2022.12.20	<0.699		1.97 ± 0.17		
		2022.12.25	<0.823		1.44 ± 0.14		
	평균 (범위)		- (<0.613)		1.40 ± 0.25 (1.14~1.97)		

* : 조사선 운항계획 수립 전 시료채취 불가

** : 기상악화 등 원인으로 시료 채취 불가

< : 최소검출가능농도(MDA) 미만의 값

표 2.3 제주남방해역 감시강화 표층 해수의 ^{134}Cs 및 ^{137}Cs 방사능농도(4개 정점) [계속]

채취 정점	조사 시기	채취일시	^{134}Cs 방사능농도 (mBq/kg)		^{137}Cs 방사능농도 (mBq/kg)		비고
			2022년	2017년 ~ 2021년	2022년	2017년 ~ 2021년	
제주 남방 해역 (315-13)	1월	*	*	- (<0.592)	*	1.49 ± 0.21 ($0.940 \sim 1.98$)	
		2022.01.27	<0.737		1.60 ± 0.15		
	2월	2022.02.12	<0.661		1.39 ± 0.14		
		2022.02.18	<0.642		1.71 ± 0.16		
	3월	2022.03.19	<0.625		1.31 ± 0.14		
		2022.03.24	<0.808		1.63 ± 0.15		
	4월	2022.04.12	<0.649		1.46 ± 0.16		
		2022.04.20	<0.644		1.35 ± 0.15		
	5월	2022.05.12	<0.670		1.11 ± 0.14		
		2022.06.06	<0.805		1.30 ± 0.14		
	6월	2022.06.16	<0.664		1.39 ± 0.15		
		2022.06.27	<0.627		1.31 ± 0.14		
	7월	2022.07.10	<0.623		1.28 ± 0.14		
		2022.07.24	<0.649		1.42 ± 0.16		
	8월	2022.08.06	<0.683		1.15 ± 0.15		
		2022.08.19	<0.700		1.05 ± 0.13		
	9월	**	**		**		시료미채취
		2022.09.28	<0.864		1.31 ± 0.15		
	10월	**	**		**		시료미채취
		2022.10.27	<0.656		1.38 ± 0.16		
	11월	2022.11.09	<0.868		1.38 ± 0.14		
		2022.11.18	<0.625		1.31 ± 0.14		
	12월	2022.12.20	<0.810		1.02 ± 0.13		
		2022.12.25	<0.763		1.65 ± 0.17		
	평균 (범위)		- (<0.623)		1.36 ± 0.19 ($1.02 \sim 1.71$)		

* : 조사선 운항계획 수립 전 시료채취 불가

** : 기상악화 등 원인으로 시료 채취 불가

< : 최소검출가능농도(MDA) 미만의 값

표 2.3 제주남방해역 감시강화 표층 해수의 ^{134}Cs 및 ^{137}Cs 방사능농도(4개 정점) [계속]

채취 정점	조사 시기	채취일시	^{134}Cs 방사능농도 (mBq/kg)		^{137}Cs 방사능농도 (mBq/kg)		비고
			2022년	2017년 ~ 2021년	2022년	2017년 ~ 2021년	
제 주 남 방 해 역 (315-18)	1월	*	*	-	*	1.50±0.21 (1.07~1.97)	
		2022.01.22	<0.680		1.30±0.14		
	2월	**	**		**		시료미채취
		2022.02.18	<0.709		1.46±0.15		
	3월	2022.03.17	<0.808		1.21±0.13		
		2022.03.27	<0.686		1.44±0.16		
	4월	2022.04.10	<0.658		1.41±0.15		
		2022.04.18	<0.842		1.34±0.14		
	5월	2022.05.12	<0.621		1.21±0.14		
		2022.05.31	<0.721		1.18±0.14		
	6월	2022.06.16	<0.784		0.883±0.121		
		2022.06.25	<0.763		0.843±0.119		
	7월	2022.07.09	<0.755		0.978±0.125		
		2022.07.25	<0.633		1.35±0.15		
	8월	2022.08.07	<0.626		1.12±0.14		
		2022.08.18	<0.789		1.09±0.13		
	9월	**	**		**		시료미채취
		2022.09.27	<0.716		1.24±0.15		
	10월	**	**		**		시료미채취
		2022.10.22	<0.609		1.22±0.14		
	11월	2022.11.10	<0.678		1.12±0.15		
		2022.11.19	<0.826		1.34±0.14		
	12월	2022.12.20	<0.767		1.82±0.18		
		2022.12.25	<0.753		1.39±0.15		
	평균 (범위)		- (<0.609)		1.25±0.22 (0.843~1.82)		

* : 조사선 운항계획 수립 전 시료채취 불가

** : 기상악화 등 원인으로 시료 채취 불가

< : 최소검출가능농도(MDA) 미만의 값

표 2.4 울릉도 부근 감시강화 표층 해수의 ^{134}Cs 및 ^{137}Cs 방사능농도(2개 정점)

채취 정점	조사 시기	채취일시	^{134}Cs 방사능농도 (mBq/kg)		^{137}Cs 방사능농도 (mBq/kg)		비고
			2022년	2017년 ~ 2021년	2022년	2017년 ~ 2021년	
울릉도 부근 (104-11)	1월	2022.01.20	<0.757	- (<0.441)	1.37 ± 0.13	1.59 ± 0.25 (<0.821~2.20)	
	2월	2022.02.11	<0.784		1.93 ± 0.16		
	3월	2022.03.14	<0.768		1.53 ± 0.14		
	4월	2022.04.11	<0.684		1.43 ± 0.15		
	5월	2022.06.02	<0.681		1.26 ± 0.15		
	6월	2022.06.19	<0.841		1.48 ± 0.14		
	7월	2022.07.21	<0.731		1.35 ± 0.14		
	8월	2022.08.06	<0.675		1.38 ± 0.14		
	9월	**	**		**		시료미채취
	10월	2022.10.14	<1.29		2.26 ± 0.24		
	11월	2022.11.23	<0.782		1.29 ± 0.14		
	12월	2022.12.10	<0.668		1.27 ± 0.15		
	평균 (범위)		- (<0.668)		1.50 ± 0.31 (1.26~2.26)		
울릉도 부근 (105-11)	1월	2022.01.15	<0.759	- (<0.607)	1.64 ± 0.15	1.65 ± 0.25 (1.03~2.09)	
	2월	2022.02.10	<0.627		1.66 ± 0.16		
	3월	2022.03.14	<0.823		1.55 ± 0.15		
	4월	2022.04.11	<0.711		1.83 ± 0.17		
	5월	2022.06.02	<0.620		1.63 ± 0.15		
	6월	2022.06.18	<0.721		1.25 ± 0.14		
	7월	2022.07.21	<0.822		1.24 ± 0.14		
	8월	2022.08.07	<0.752		1.43 ± 0.14		
	9월	**	**		**		시료미채취
	10월	2022.10.14	<0.657		1.38 ± 0.16		
	11월	2022.11.23	<0.827		1.56 ± 0.14		
	12월	2022.12.10	<0.886		1.17 ± 0.13		
	평균 (범위)		- (<0.620)		1.49 ± 0.21 (1.17~1.83)		

** : 기상악화 등 원인으로 시료 채취 불가
< : 최소검출가능농도(MDA) 미만의 값

2) ^3H 방사능농도

우리나라 주변 해역 34개 정점의 2022년도 표층해수의 ^3H 방사능농도 범위는 0.0779~0.451 Bq/L(연평균 0.193 ± 0.070 Bq/L)로서, 과거 5년간(2017년~2021년) 조사한 농도범위인 <0.0577~0.430 Bq/L(평균 0.158 ± 0.058 Bq/L)와 비슷한 수준이었다(표 2.5). 이는 후쿠시마 원전 사고 이전(2006년~2010년) 농도범위인 <0.0376~0.743 Bq/L에 비해 낮은 수준이었다. 표층해수의 연도별 ^3H 방사능농도 변동 추이는 그림 2.3과 같다.

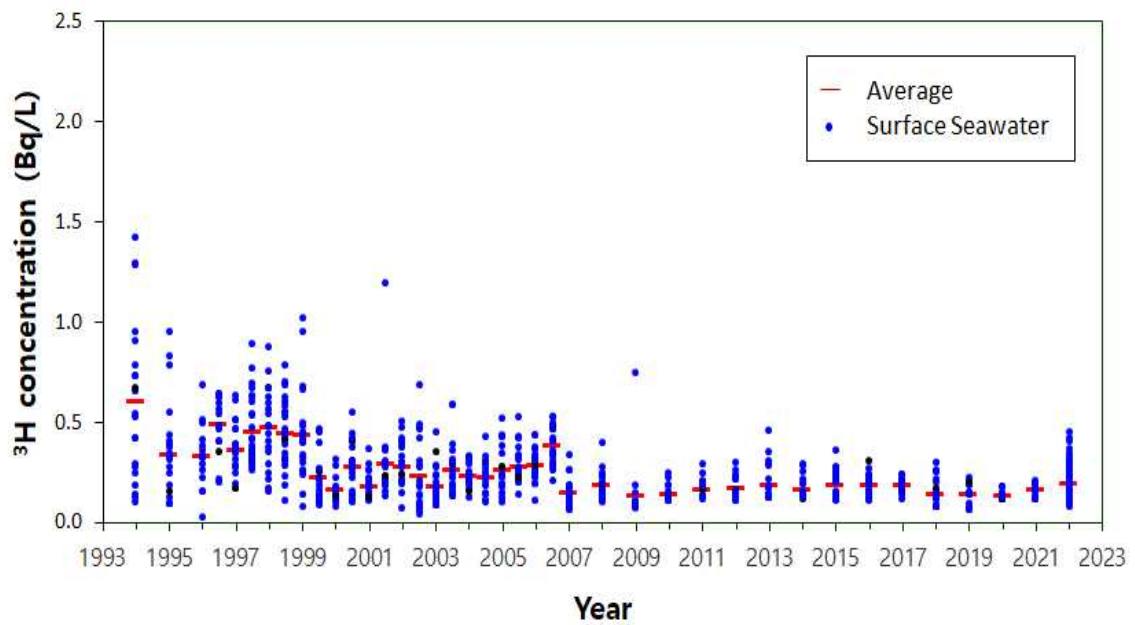


그림 2.3 표층 해수의 연도별 ^3H 방사능농도 변동

표 2.5 표층 해수의 ^3H 방사능농도

구분	조사정점	^3H 방사능농도 (Bq/L)				
		2022년				2017년~2021년
		1차 조사	2차 조사	3차 조사	4차 조사	
동해	107-07	<0.163	<0.129	0.242 ± 0.051	0.152 ± 0.045	<0.0739~0.199
	106-02	<0.156	0.142 ± 0.042	0.286 ± 0.050	<0.134	0.0825~0.187
	106-05	<0.160	0.241 ± 0.045	0.258 ± 0.050	<0.133	<0.0746~0.238
	105-11	0.110 ± 0.020	0.145 ± 0.043	0.291 ± 0.050	<0.132	<0.0754~<0.219
	104-11*	0.113 ± 0.020	0.240 ± 0.044	0.295 ± 0.050	<0.127	<0.107~0.298*
	104-04	<0.154	0.164 ± 0.043	0.306 ± 0.052	<0.127	<0.0733~0.237
	103-11	<0.161	0.172 ± 0.043	0.277 ± 0.052	<0.131	<0.0751~0.193
	102-04	<0.162	0.153 ± 0.043	0.261 ± 0.050	0.190 ± 0.045	<0.0739~0.234
	209-08	<0.159	0.158 ± 0.042	0.298 ± 0.050	<0.131	<0.0743~<0.193
	208-01	<0.166	0.191 ± 0.044	0.451 ± 0.052	0.179 ± 0.046	<0.134~0.197
남해	207-03	<0.161	0.226 ± 0.050	0.247 ± 0.053	0.164 ± 0.032	<0.113
	206-01	<0.157	<0.145	0.335 ± 0.052	0.141 ± 0.031	<0.113
	205-05	<0.165	0.205 ± 0.053	0.363 ± 0.052	0.190 ± 0.032	<0.111
	204-02	<0.161	0.213 ± 0.051	0.179 ± 0.055	0.197 ± 0.033	<0.114~0.221
	203-03	<0.173	0.187 ± 0.051	<0.160	0.239 ± 0.034	<0.113
	313-09	<0.164	0.297 ± 0.054	0.260 ± 0.052	0.258 ± 0.033	<0.115~<0.199
	314-01	<0.166	0.205 ± 0.050	<0.142	0.137 ± 0.032	<0.113~<0.191
	314-03*	0.0779 ± 0.0192	0.218 ± 0.050	0.301 ± 0.050	0.138 ± 0.031	<0.106~0.430*
	314-08*	0.126 ± 0.020	0.223 ± 0.051	0.338 ± 0.051	0.151 ± 0.034	<0.112~0.316*
	315-13*	0.130 ± 0.020	0.205 ± 0.053	0.403 ± 0.052	0.128 ± 0.033	<0.102~0.271*
	315-18*	0.190 ± 0.022	0.182 ± 0.050	0.418 ± 0.052	0.160 ± 0.034	<0.105~0.318*
	315-22*	0.253 ± 0.056	0.295 ± 0.051	0.215 ± 0.051	0.139 ± 0.034	0.131~0.146*
	316-13*	<0.160	0.171 ± 0.049	<0.144	<0.0958	<0.115*
	316-22*	<0.161	0.277 ± 0.052	<0.135	<0.0897	0.160~0.218*
	317-13*	<0.162	<0.165	0.199 ± 0.052	<0.0947	<0.113*
	317-22*	<0.159	0.235 ± 0.056	<0.147	0.130 ± 0.033	<0.113~0.170*
	318-15**	0.246 ± 0.058	<0.161	<0.140	<0.0987	-**
	318-20**	<0.162	<0.158	<0.145	<0.0926	-**
서해	312-02	0.214 ± 0.058	0.144 ± 0.040	<0.145	<0.135	0.0695~0.293
	311-09	0.312 ± 0.058	0.155 ± 0.042	0.151 ± 0.050	<0.132	<0.0608~0.208
	310-03	0.227 ± 0.058	0.213 ± 0.041	<0.123	0.173 ± 0.046	0.0716~0.254
	309-09	0.313 ± 0.058	0.248 ± 0.042	0.253 ± 0.053	0.286 ± 0.047	<0.0585~0.212
	308-01	0.221 ± 0.056	0.190 ± 0.041	0.265 ± 0.052	0.153 ± 0.045	<0.0577~0.261
	307-09	0.314 ± 0.060	<0.110	0.214 ± 0.051	0.222 ± 0.046	0.0890~0.253
평균 (범위)		0.193 ± 0.070 (0.0779~0.451)				0.158 ± 0.058 (<0.0577~0.430)

< : 최소검출가능농도(MDA) 미만의 값

* : 2020년부터 농도분석 수행(2020~2021년도 방사능농도)

** : 2022년부터 농도분석 수행

3) ^{90}Sr 방사능농도

우리나라 주변 해역 16개 정점에서 2022년도 표층해수의 ^{90}Sr 방사능농도 범위는 0.319~0.889 mBq/kg(연평균 0.487 ± 0.135 mBq/kg)로서, 과거 5년간(2017년~2021년) 조사한 농도범위인 <0.295~1.84 mBq/kg(평균 0.785 ± 0.324 mBq/kg)과 비슷한 수준이었다(표 2.6). 표층 해수의 연도별 ^{90}Sr 방사능농도 변동 추이는 그림 2.4와 같다.

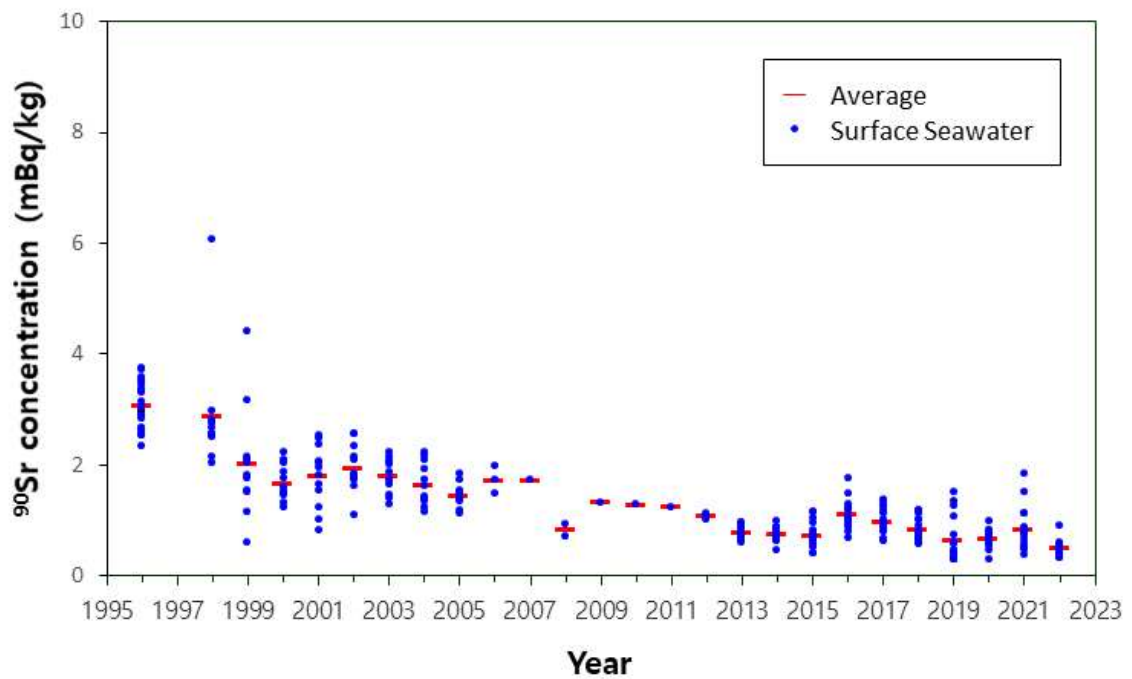


그림 2.4 표층 해수의 연도별 ^{90}Sr 방사능농도 변동

표 2.6 표층 해수의 ^{90}Sr 방사능농도

구분	조사정점	^{90}Sr 방사능농도 (mBq/kg)	
		2022년	2017년~2021년
동해	107-07	0.319 ± 0.075	0.390~1.27
	106-02(05)	0.327 ± 0.086	0.562~1.84
	105-11	0.374 ± 0.060	0.611~1.11
	103-11	<0.470	<0.315~1.37
	102-04	0.478 ± 0.091	<0.320~0.887
	209-08	0.533 ± 0.091	<0.295~0.823
남해	207-03	0.889 ± 0.136	<0.422~0.809
	205-05	<0.386	<0.377~0.716
	204-02	0.533 ± 0.090	<0.308~0.950
	314-01	<0.437	<0.299~0.801
	313-09	<0.457	<0.303~0.977
서해	312-02	<0.548	0.448~0.781
	311-09	<0.515	0.659~1.18
	310-03	<0.505	0.542~1.52
	309-09	<0.409	0.307~1.35
	307-09	0.611 ± 0.106	<0.447~1.52
평균 (범위)		0.487 ± 0.135 (0.319~0.889)	0.785 ± 0.324 (<0.295~1.84)

< : 최소검출가능농도(MDA) 미만의 값

4) $^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도 및 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비

우리나라 주변 해역 22개 정점의 2022년도 표층 해수의 $^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도 범위는 $2.12\sim 6.35\ \mu\text{Bq/kg}$ (연평균 $4.26\pm 1.22\ \mu\text{Bq/kg}$)로, 과거 5년(2017년~2021년) 조사된 농도 범위인 $1.69\sim 9.92\ \mu\text{Bq/kg}$ (평균 $3.82\pm 1.44\ \mu\text{Bq/kg}$) 수준이었다. 전체해역에 대한 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비의 범위는 $0.199\sim 0.243$ (연평균 0.229 ± 0.010)로, 과거 5년(2017년~2021년) 조사된 농도범위인 $0.180\sim 0.252$ (연평균 0.229 ± 0.014) 수준이었다. 표층 해수의 연도별 Pu 방사능농도 변동 추이는 그림 2.5와 같다.

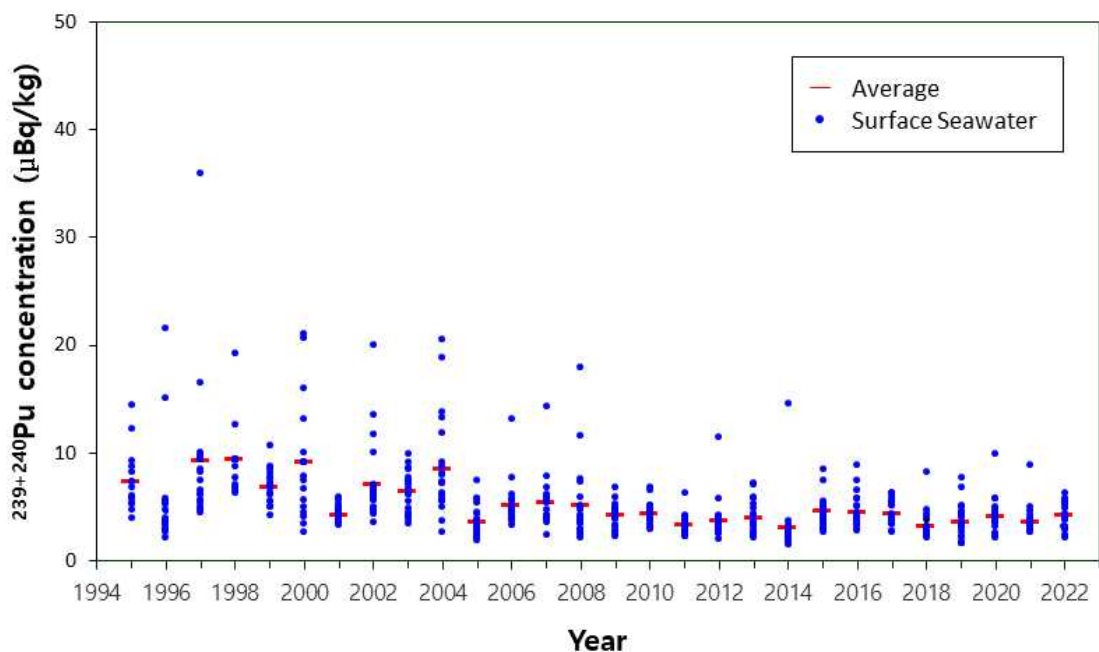


그림 2.5 표층 해수의 연도별 $^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도 변동

표 2.7 표층 해수의 $^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도 및 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비

구분	조사정점	$^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도 ($\mu\text{Bq/kg}$)		$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비	
		2022년	2017년~2021년	2022년	2017년~2021년
동해	107-07	3.00 ± 0.17	2.67~3.72	0.234 ± 0.022	0.224~0.236
	106-02	3.93 ± 0.13	2.58~5.13	0.238 ± 0.014	0.231~0.246
	105-11	3.83 ± 0.17	2.91~5.53	0.236 ± 0.022	0.228~0.239
	104-04	4.15 ± 0.18	2.81~5.87	0.238 ± 0.021	0.232~0.247
	103-11	3.10 ± 0.12	2.67~8.85	0.239 ± 0.016	0.230~0.247
	102-04	3.89 ± 0.19	2.68~5.19	0.232 ± 0.023	0.217~0.244
	209-08	5.11 ± 0.28	2.51~3.80	0.231 ± 0.025	0.229~0.241
	208-01	5.35 ± 0.27	3.21~6.82	0.234 ± 0.023	0.234~0.249
	106-05	5.34 ± 0.25	3.06~5.02	0.243 ± 0.020	0.228~0.243
남해	207-03	5.60 ± 0.29	2.13~3.96	0.237 ± 0.020	0.234~0.247
	206-01	4.24 ± 0.23	3.18~4.82	0.233 ± 0.017	0.236~0.252
	205-05	4.38 ± 0.30	2.39~3.96	0.227 ± 0.018	0.231~0.236
	204-02	5.63 ± 0.20	3.61~5.83	0.231 ± 0.020	0.220~0.238
	203-03	3.25 ± 0.23	2.42~3.64	0.233 ± 0.030	0.237~0.245
	314-01	5.49 ± 0.24	1.72~3.50	0.242 ± 0.018	0.224~0.243
	313-09	5.81 ± 0.19	2.22~5.56	0.231 ± 0.017	0.227~0.237
서해	312-02	2.89 ± 0.16	3.24~5.39	0.220 ± 0.020	0.218~0.241
	311-09	2.39 ± 0.06	1.70~6.28	0.216 ± 0.013	0.218~0.227
	310-03	4.83 ± 0.21	2.79~9.92	0.212 ± 0.021	0.197~0.219
	309-09	2.12 ± 0.06	1.69~4.07	0.199 ± 0.032	0.203~0.224
	308-01	6.35 ± 0.20	2.98~5.78	0.221 ± 0.013	0.180~0.217
	307-09	3.11 ± 0.19	1.70~3.80	0.222 ± 0.019	0.194~0.211
평균 (범위)		4.26 ± 1.22 (2.12 ~ 6.35)	3.82 ± 1.44 (1.69 ~ 9.92)	0.229 ± 0.010 (0.199 ~ 0.243)	0.229 ± 0.014 (0.180 ~ 0.252)

2022년도 우리나라 주변 해역에 대한 환경방사능 감시결과는 표 2.8과 같다. 1995년부터 2022년까지 연평균 ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^3H 및 $^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도는 그림 2.6과 같이 연도별로 두드러진 변화 없이 거의 일정한 값을 나타내었다.

표 2.8 표층 해수의 핵종별 방사능농도 범위

핵 종	단 위	2022년도		과거농도범위 (2017년~2021년)
		시료수	농도범위	
^{137}Cs	mBq/kg	273	0.843~2.26	<0.821~2.43
^3H	Bq/L	136	0.0779~0.451	<0.0577~0.430
^{90}Sr	mBq/kg	16	0.319~0.889	<0.295~1.84
$^{239+240}\text{Pu}$	$\mu\text{Bq/kg}$	22	2.12~6.35	1.69~9.92
$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}^*$	-	22	0.199~0.243	0.180~0.252

※ ^{240}Pu 와 ^{239}Pu 의 동위원소비

< : 최소검출가능농도(MDA) 미만의 값

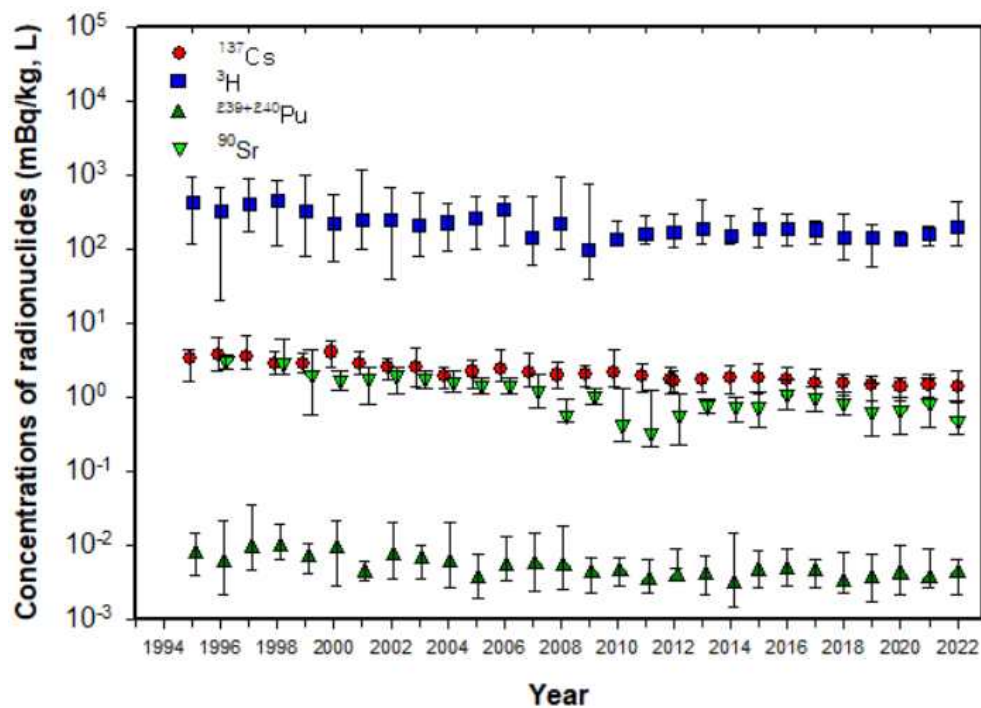


그림 2.6 표층 해수의 핵종별 연평균 방사능농도 변화

3.2 수심별 해수

우리나라 서해(황해)는 한반도와 중국대륙 사이에 위치한 반폐쇄성 대륙붕 해역으로 평균 수심이 44 m로 얕아 육수의 영향을 크게 받고 있다. 남해는 동남쪽 해역을 제외하고는 수심이 얕은 대륙붕이다. 반면 동해는 대양의 주변부에 위치한 최대수심이 3,000 m 이상인 분지로서 표층 해수는 외양의 영향을 직접 받고 있는 해역이다. 주변 해역은 조사정점에 따라 특성이 달라 깊이별로 방사능농도가 다르다.

우리나라 주변 해역 수심별 해수 중 방사능(^{137}Cs , ^3H , ^{90}Sr 및 $^{239+240}\text{Pu}$) 농도와 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비는 표 2.9~2.11와 같다. 동해 2개 정점(105-11, 106-05), 남해 2개 정점(313-09, 314-01), 서해 2개 정점(307-09, 311-09)에서 수심별 수온 및 ^{137}Cs , ^3H , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도 분포를 각각 ▲, ●, ◆, ■ 로 나타내었다. 단, 조사수심의 방사능농도가 최소검출가능농도 미만일 경우 최소검출가능농도를 △, ○, ◇, □ 로 표시하여 나타내었다(그림 2.7~2.9).

표 2.9 수심별 해수의 ^{137}Cs 및 ^3H 방사능농도

구분	조사 정점	수심 (m)	^{137}Cs 방사능농도 (mBq/kg)			^3H 방사능농도 (Bq/L)	
			2022년		2017년~2021년	2022년	2017년~2021년
			4월	8월		4월	
동해	105-11	0	1.83 ± 0.17	1.43 ± 0.14	1.43~2.02	0.145 ± 0.043	$<0.0754 \sim 0.218$
		200	1.31 ± 0.13	1.33 ± 0.14	1.01~1.78	<0.128	$<0.0756 \sim 0.184$
		500	1.11 ± 0.13	1.22 ± 0.15	0.869~1.40	0.210 ± 0.044	$<0.0739 \sim 0.210$
		750	0.888 ± 0.142	0.633 ± 0.112	0.659~1.21	<0.133	$<0.0773 \sim 0.207$
		1000	0.753 ± 0.112	0.597 ± 0.110	$<0.762 \sim 1.53$	<0.137	$<0.0720 \sim 0.200$
		2000	<0.938	<0.691	<0.570	<0.132	$<0.0766 \sim 0.176$
	106-05	0	1.39 ± 0.14	1.50 ± 0.14	1.31~1.86	0.241 ± 0.045	$<0.0746 \sim 0.238$
		200	1.21 ± 0.14	1.30 ± 0.14	0.973~1.71	0.179 ± 0.043	$<0.0747 \sim 0.182$
		500	1.20 ± 0.14	0.975 ± 0.141	1.00~1.55	0.230 ± 0.046	0.0810~0.229
		750	0.830 ± 0.128	0.828 ± 0.130	0.754~1.26	<0.136	$<0.0740 \sim 0.201$
		1000	0.594 ± 0.114	<0.721	$<0.609 \sim 1.66$	<0.125	$<0.0746 \sim 0.179$
남해	313-09	0	1.43 ± 0.14	1.18 ± 0.15	1.08~1.69	0.297 ± 0.054	$<0.115 \sim 0.199$
		20	1.53 ± 0.14	1.43 ± 0.15	1.28~1.87	0.277 ± 0.053	$<0.101 \sim 0.198$
		50	1.07 ± 0.14	1.03 ± 0.13	1.17~1.99	0.221 ± 0.050	$<0.112 \sim 0.196$
		70	1.60 ± 0.15	1.08 ± 0.14	1.32~1.59	0.213 ± 0.050	<0.103
	314-01	0	1.20 ± 0.14	1.03 ± 0.12	0.892~1.81	0.205 ± 0.050	$<0.113 \sim 0.191$
		20	1.38 ± 0.14	1.43 ± 0.16	1.13~1.86	<0.151	<0.0987
		50	1.33 ± 0.14	1.58 ± 0.15	1.35~1.84	0.268 ± 0.052	<0.101
		140	1.91 ± 0.18	1.55 ± 0.15	1.71~2.42	0.208 ± 0.051	<0.103
서해	307-09	0	1.20 ± 0.14	1.05 ± 0.13	1.07~1.63	<0.110	0.0890~0.253
		20	1.15 ± 0.13	1.30 ± 0.15	0.966~1.72	0.238 ± 0.042	$<0.127 \sim 0.324$
		75	1.28 ± 0.13	1.44 ± 0.15	0.780~1.38	0.177 ± 0.041	0.148~0.258
	311-09	0	1.29 ± 0.15	1.32 ± 0.14	$<1.14 \sim 1.53$	0.155 ± 0.042	$<0.0608 \sim 0.208$
		20	1.23 ± 0.13	1.10 ± 0.12	1.13~1.52	0.165 ± 0.041	$<0.0612 \sim 0.185$
		75	1.45 ± 0.16	1.13 ± 0.12	$<0.771 \sim 1.85$	0.227 ± 0.042	$<0.0592 \sim 0.242$

< : 최소검출가능농도(MDA) 미만의 값

표 2.10 수심별 해수의 ^{90}Sr 방사능농도

구분	조사정점	수심(m)	^{90}Sr 방사능농도 (mBq/kg)	
			2022년	2017년~2021년
동해	105-11	0	0.374 ± 0.060	0.611~1.11
		200	0.312 ± 0.070	0.640~1.10
		500	0.638 ± 0.081	0.738~0.987
		750	0.489 ± 0.068	0.491~0.909
		1000	<0.218	0.394~1.16
		2000	0.544 ± 0.069	0.281~1.20
남해	313-09	0	<0.457	<0.303~0.977
		20	1.20 ± 0.08	0.659~0.875
		50	1.19 ± 0.09	0.625~0.939
		70	0.881 ± 0.090	0.656~0.830
서해	307-09	0	0.611 ± 0.106	<0.447~1.52
		20	0.893 ± 0.108	<0.445~1.49
		75	0.791 ± 0.114	<0.475~2.15

< : 최소검출가능농도(MDA) 미만의 값

표 2.11 수심별 해수의 $^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도 및 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비

구분	조사정점	수심(m)	$^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도 ($\mu\text{Bq/kg}$)		$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비	
			2022년	2017년~2021년	2022년	2017년~2021년
동해	105-11	0	3.83 ± 0.17	2.91~5.53	0.236 ± 0.022	0.228~0.239
		200	7.02 ± 0.29	4.18~9.42	0.228 ± 0.021	0.236~0.243
		500	12.7 ± 0.8	12.4~19.7	0.226 ± 0.030	0.238~0.242
		750	15.5 ± 1.0	15.0~24.8	0.239 ± 0.034	0.238~0.245
		1000	25.3 ± 0.5	16.9~28.4	0.240 ± 0.006	0.238~0.245
		2000	19.8 ± 1.2	16.4~26.6	0.238 ± 0.019	0.238~0.247
남해	313-09	0	5.81 ± 0.19	2.22~5.56	0.231 ± 0.017	0.227~0.237
		20	2.58 ± 0.18	2.49~3.80	0.236 ± 0.019	0.232~0.240
		50	4.60 ± 0.36	3.25~5.83	0.239 ± 0.033	0.233~0.243
		70	5.47 ± 0.21	4.20~7.80	0.241 ± 0.018	0.216~0.239
서해	307-09	0	3.11 ± 0.19	1.70~3.80	0.222 ± 0.019	0.194~0.211
		20	2.57 ± 0.01	1.88~4.07	0.203 ± 0.029	0.201~0.209
		75	3.03 ± 0.01	2.33~6.24	0.200 ± 0.022	0.199~0.237

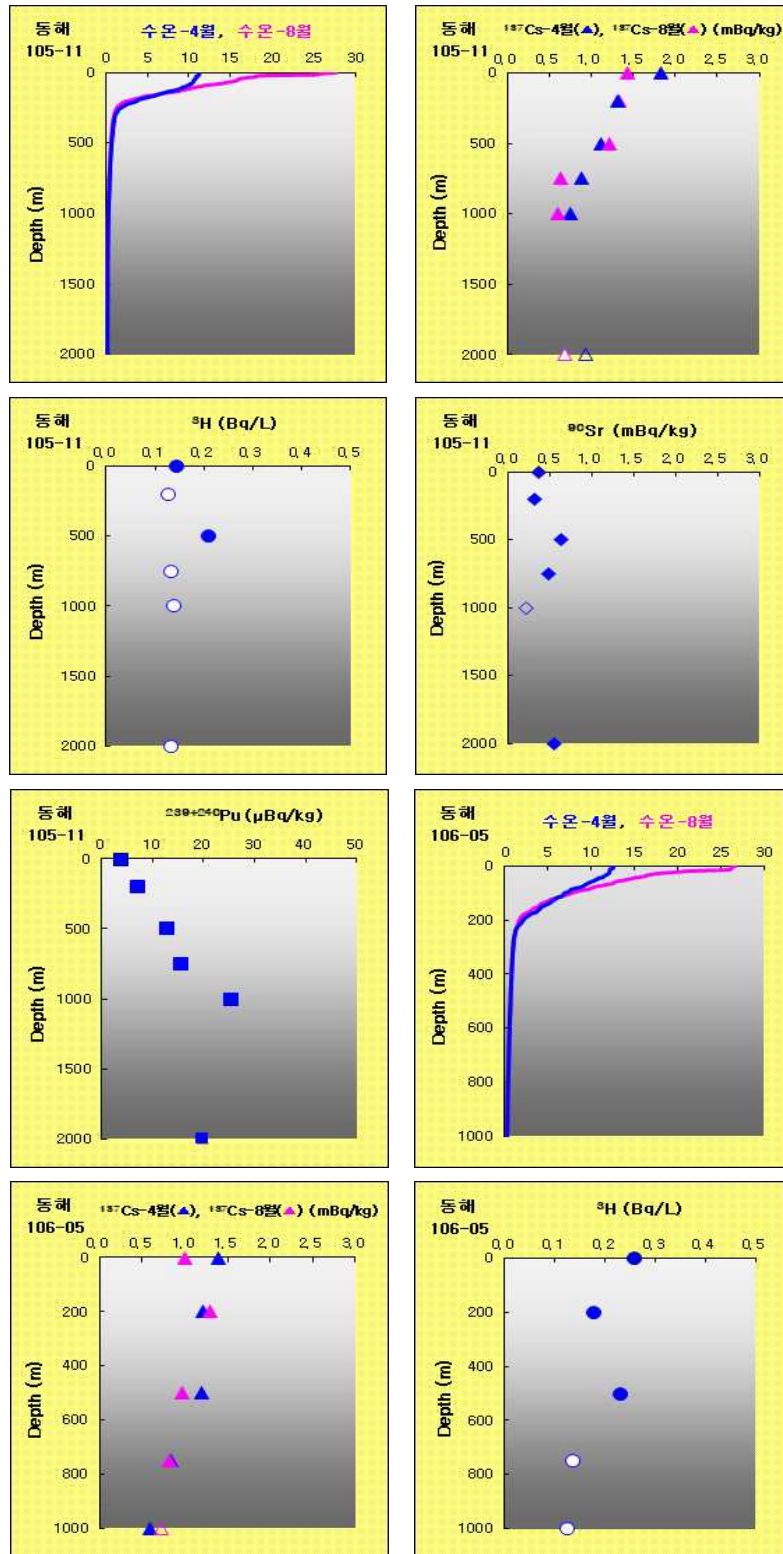


그림 2.7 동해(105-11, 106-05) 수심별 ^{137}Cs , ^3H , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ 분포

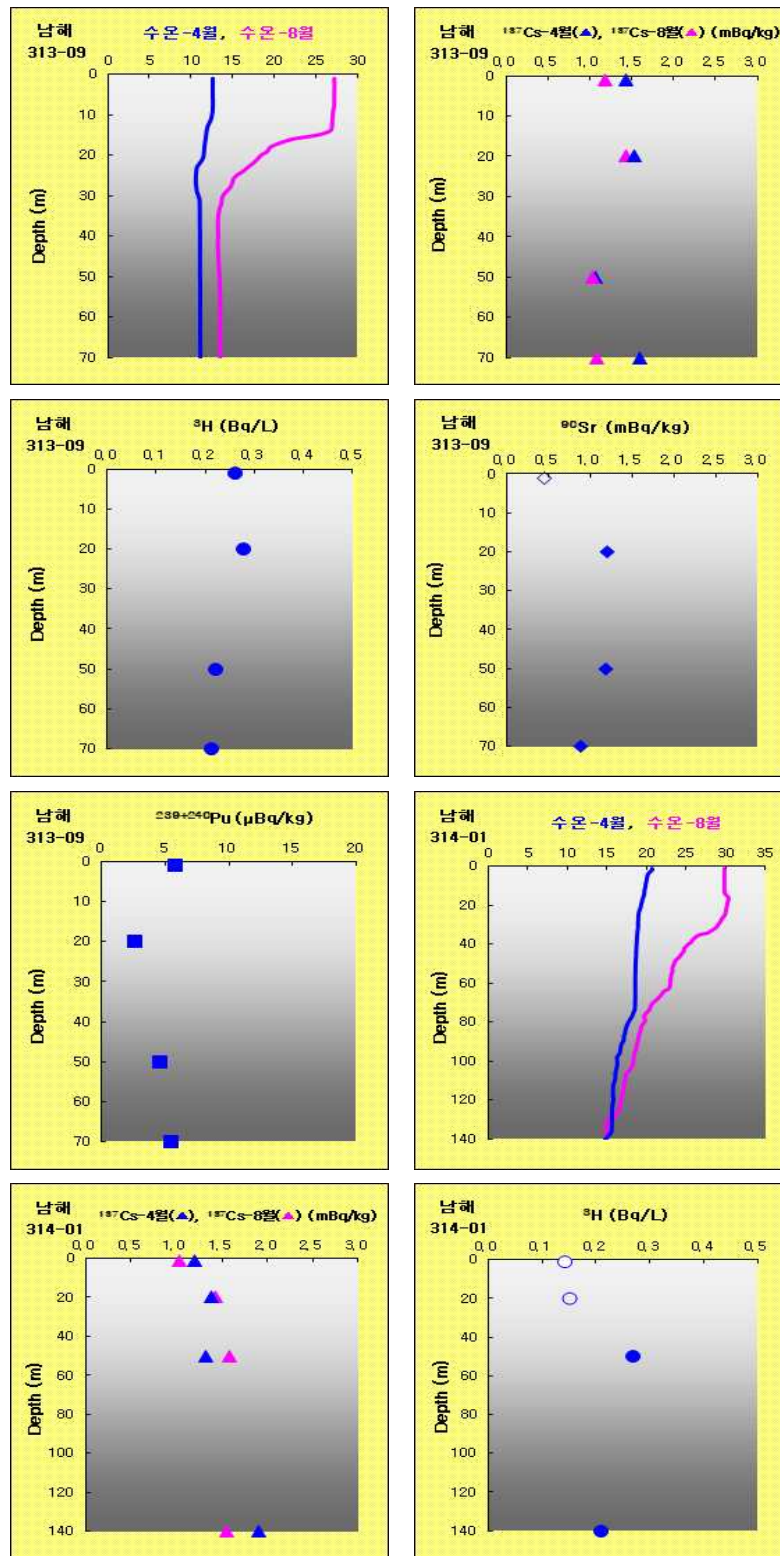


그림 2.8 남해(313-09, 314-01) 수심별 ^{137}Cs , ^3H , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ 분포

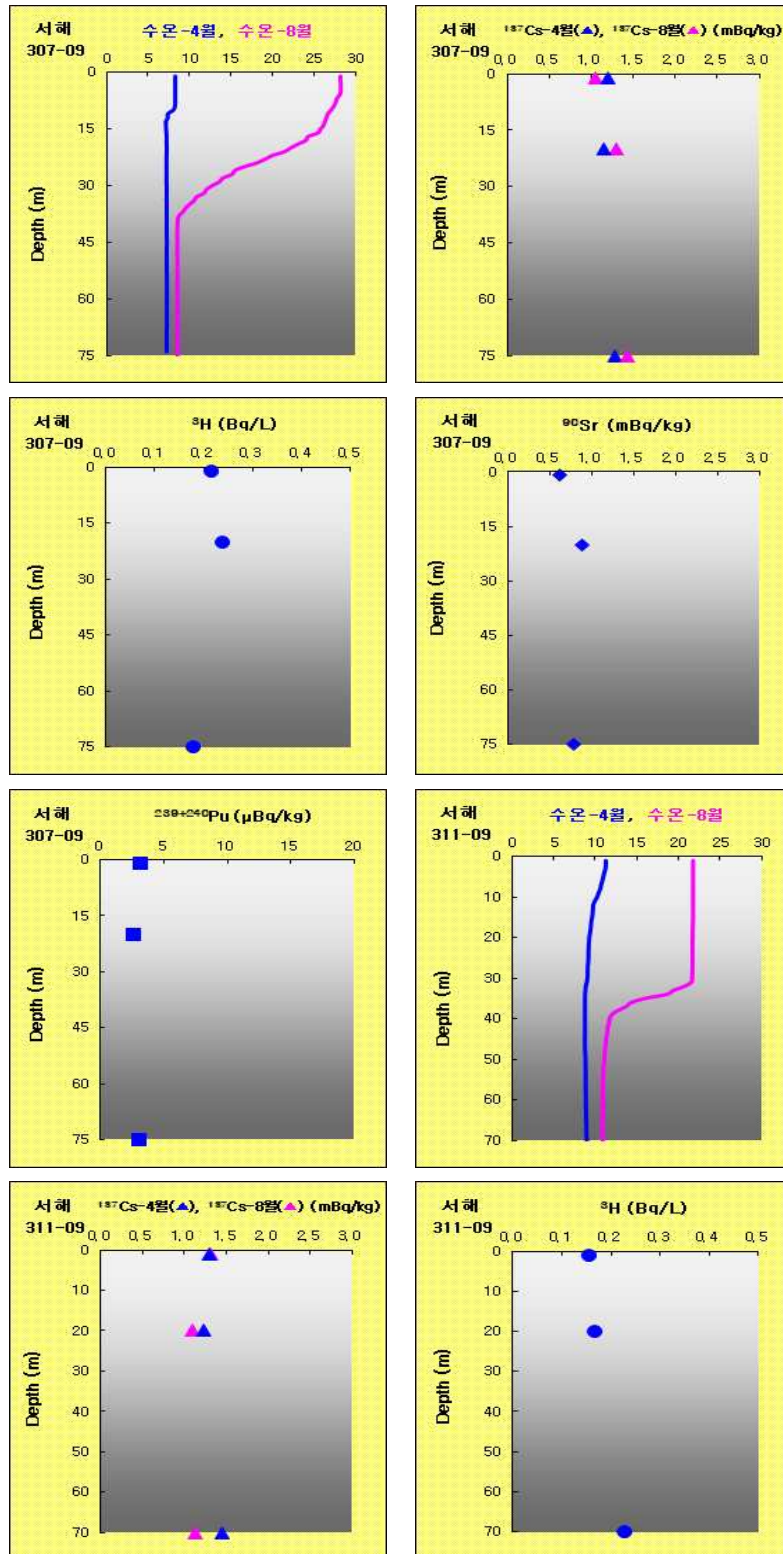


그림 2.9 서해(317-09, 311-09) 수심별 ^{137}Cs , ^3H , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ 분포

3.3 해저퇴적물

우리나라 주변 해역 15개 정점에서 채취된 해저퇴적물(0~5 cm) 중 ^{137}Cs , ^{40}K , ^{90}Sr 및 $^{239+240}\text{Pu}$ 의 방사능농도 평균은 $1.40 \pm 0.69 \text{ Bq/kg-dry}$, $759 \pm 99 \text{ Bq/kg-dry}$, $0.233 \pm 0.185 \text{ Bq/kg-dry}$, $0.513 \pm 0.358 \text{ Bq/kg-dry}$ 이고, $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 의 동위원소비의 평균은 0.225 ± 0.016 였다(표 2.11~2.13). 2022년도 ^{137}Cs 의 방사능농도 범위($<0.475 \sim 3.16 \text{ Bq/kg-dry}$)는 과거 5년간(2017년~2021년) 방사능농도 범위($<0.428 \sim 3.83 \text{ Bq/kg-dry}$) 수준이었다.

표 2.12 해저퇴적물의 ^{137}Cs , ^{40}K 방사능농도

구분	조사정점	^{137}Cs 방사능농도 (Bq/kg-dry)		^{40}K 방사능농도 (Bq/kg-dry)	
		2022년	2017년~2021년	2022년	2017년~2021년
동해	거진	1.39 ± 0.15	$<0.797 \sim 3.58$	713 ± 11	709~873
	양양	2.22 ± 0.16	1.32~2.27	734 ± 11	450~885
	강릉	1.29 ± 0.15	1.69~3.48	747 ± 12	678~813
	삼척	3.16 ± 0.20	2.87~3.83	822 ± 12	720~818
	죽변	1.38 ± 0.15	$<0.663 \sim 3.60$	864 ± 13	653~883
남해	206-01	<0.552	$0.480 \sim <1.88$	739 ± 11	717~765
	205-01	1.90 ± 0.18	1.38~1.97	853 ± 14	750~842
	204-02	1.63 ± 0.15	1.63~1.77	752 ± 11	740~760
	203-01	<0.475	<0.600	439 ± 7	387~491
	313-09	0.855 ± 0.131	0.736~1.26	782 ± 12	705~757
서해	311-09	<0.892	$0.562 \sim <1.04$	778 ± 12	727~797
	310-03	1.41 ± 0.17	0.890~1.99	752 ± 12	721~837
	309-09	1.82 ± 0.15	$<0.428 \sim 1.38$	801 ± 12	797~829
	308-01	<1.09	$<0.607 \sim <2.18$	778 ± 11	699~1050
	307-09	<0.996	$0.685 \sim <1.16$	830 ± 12	764~861
평균 (범위)		1.40 ± 0.69 ($<0.475 \sim 3.16$)	1.59 ± 0.84 ($<0.428 \sim 3.83$)	759 ± 99 (439~864)	748 ± 113 (387~1050)

< : 최소검출가능농도(MDA) 미만의 값

표 2.13 해저퇴적물의 ^{90}Sr 방사능농도

구분	조사정점	^{90}Sr 방사능농도 (Bq/kg-dry)	
		2022년	2017년~2021년
동해	강릉	0.312 ± 0.039	0.131~0.389
	죽변	0.575 ± 0.045	<0.177~0.516
남해	204-02	<0.178	<0.109
	313-09	<0.106	<0.0980
서해	308-01	<0.107	<0.130
	310-03	<0.121	<0.0820~<0.174
평균 (범위)		0.233 ± 0.185 (<0.106~0.575)	0.181 ± 0.093 (<0.0820~0.516)

< : 최소검출가능농도(MDA) 미만의 값

표 2.14 해저퇴적물의 $^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도 및 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비

구분	조사정점	$^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도 (Bq/kg-dry)		$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비	
		2022년	2017년~2021년	2022년	2017년~2021년
동해	강릉	0.935 ± 0.019	0.460~0.731	0.225 ± 0.009	0.231~0.240
	죽변	0.904 ± 0.019	0.246~1.32	0.234 ± 0.010	0.223~0.239
남해	204-02	0.597 ± 0.010	0.362~0.954	0.243 ± 0.008	0.221~0.230
	313-09	0.198 ± 0.006	0.123~0.232	0.235 ± 0.016	0.226~0.235
서해	308-01	0.0912 ± 0.006	0.0659~0.335	0.200 ± 0.031	0.181~0.214
	310-03	0.350 ± 0.010	0.143~0.360	0.214 ± 0.013	0.204~0.226
평균 (범위)		0.513 ± 0.358 (0.0912~0.935)	0.449 ± 0.320 (0.0659~1.32)	0.225 ± 0.016 (0.200~0.243)	0.222 ± 0.015 (0.181~0.240)

3.4 해양생물

가. 어류

해양생물 조사지점은 해구도를 이용하여 인근 도시를 병행하여 표시하였다(그림 2.10). 7개 지점에서 확보한 어류에서 뼈를 제거한 근육질 중의 ^{137}Cs , ^{40}K , ^{90}Sr 및 $^{239+240}\text{Pu}$ 의 방사능농도와 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비를 조사하였다(표 2.15~2.19).

15개 시료에서 ^{137}Cs 의 방사능농도 평균은 95.7 ± 47.7 mBq/kg-fresh이고 ^{137}Cs 의 방사능농도 범위는 32.2~177 mBq/kg-fresh 였다. ^{40}K 의 방사능농도의 평균과 범위는 90.8 ± 18.9 Bq/kg-fresh, 59.8~122 Bq/kg-fresh 였다. 동·서·남해에서 채취한 3개체의 ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ 평균 방사능농도는 각각 최소검출가능농도 미만 (<6.09 mBq/kg-fresh), (<0.0335 mBq/kg-fresh) 이었다.

배타적경제수역 내 어획된 80개체(그림 2.11 및 표 2.20, 2.21) 중 어류의 ^{137}Cs , ^{40}K 의 방사능농도 범위는 $<17.0 \sim 161$ mBq/kg-fresh(평균 61.8 ± 35.1 mBq/kg-fresh) 및 $21.9 \sim 115$ Bq/kg-fresh(평균 69.4 ± 20.1 Bq/kg-fresh) 이었으며, 어류를 제외한 두족류 및 절지동물의 ^{137}Cs , ^{40}K 의 방사능농도 범위는 $<13.1 \sim <81.2$ mBq/kg-fresh(평균 27.8 ± 15.0 mBq/kg-fresh) 및 $24.7 \sim 87.6$ Bq/kg-fresh(평균 59.8 ± 16.0 Bq/kg-fresh) 이었다. 5개체 이상 어획한 어종은 갈치, 살오징어, 참조기였다.

과거 5년간 ^{137}Cs 의 방사능농도 범위인 $<21.5 \sim 288$ mBq/kg-fresh 수준이었으며, 후쿠시마 원전 사고 이전(2006년~2010년) 조사한 어류 중 ^{137}Cs 의 최대 방사능농도는 삼치에서 184 mBq/kg-fresh 였다.

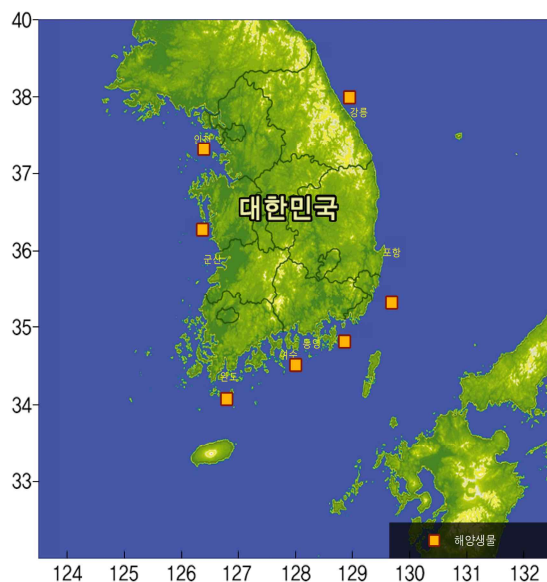


그림 2.10 해양생물 조사지점

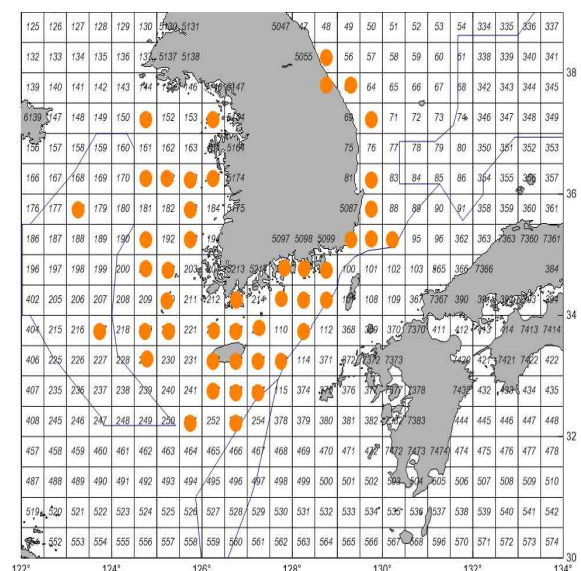


그림 2.11 어류 조사지점(연중)

표 2.15 어류의 ^{137}Cs 방사능농도

조사정점		2022년		2017년~2021년
		종명	^{137}Cs 방사능농도 (mBq/kg-fresh)	^{137}Cs 방사능농도 (mBq/kg-fresh)
동해	강릉(62해구)	방어	121 ± 5	88.9(57.5~112)
	강릉(62해구)	농어	99.0 ± 5.4	80.7(80.3~81.0)
	포항(82해구)	삼치	126 ± 5	—*
	포항(87해구)	방어	164 ± 7	161(126~185)
남해	여수(97해구)	방어	118 ± 5	—*
	여수(97해구)	송어	49.1 ± 3.9	100(21.8~288)
	통영(99해구)	성대	42.9 ± 3.9	—*
	통영(99해구)	보구치	59.7 ± 4.7	51.5(50.7~52.3)
	완도(213해구)	송어	32.2 ± 3.6	45.5(<21.5~101)
	완도(213해구)	삼치	160 ± 5	162(135~193)
	완도(213해구)	방어	177 ± 5	—*
서해	인천(154해구)	넙치	89.0 ± 5.6	62.2(29.9~83.5)
	인천(154해구)	병어	49.8 ± 3.8	—*
	군산(174해구)	넙치	95.9 ± 5.9	60.9(32.3~75.6)
	군산(174해구)	넙치	51.5 ± 4.2	60.9(32.3~75.6)
평균 (범위)			95.7 ± 47.7 (32.2~177)	83.7 ± 54.8 (<21.5~288)

< : 최소검출가능농도(MDA) 미만의 값

* : 최근 5년간 채취되지 않아 농도범위 없음

표 2.16 어류의 ^{40}K 방사능농도

조사정점		2022년		2017년 ~ 2021년
		종명	^{40}K 방사능농도 (Bq/kg-fresh)	^{40}K 방사능농도 (Bq/kg-fresh)
동해	강릉(62해구)	방어	103 ± 1	92.5(70.2~104)
	강릉(62해구)	농어	101 ± 1	98.1(72.2~124)
	포항(82해구)	삼치	115 ± 1	—*
	포항(87해구)	방어	107 ± 1	91.9(76.5~106)
남해	여수(97해구)	방어	86.7 ± 1.0	—*
	여수(97해구)	송어	78.0 ± 0.9	73.7(56.7~88.2)
	통영(99해구)	성대	87.9 ± 1.0	—*
	통영(99해구)	보구치	59.8 ± 0.7	61.0(48.5~73.4)
	완도(213해구)	송어	61.4 ± 0.7	74.6(59.4~96.7)
	완도(213해구)	삼치	92.9 ± 1.0	106(103~109)
	완도(213해구)	방어	87.4 ± 1.0	—*
서해	인천(154해구)	넙치	122 ± 1	83.0(58.8~98.5)
	인천(154해구)	병어	67.6 ± 0.8	—*
	군산(174해구)	넙치	108 ± 1	89.2(54.5~109)
	군산(174해구)	넙치	84.4 ± 0.9	89.2(54.5~109)
평균 (범위)			90.8 ± 18.9 (59.8~122)	86.4 ± 18.0 (48.5~124)

* : 최근 5년간 채취되지 않아 농도범위 없음

표 2.17 어류의 ^{90}Sr 방사능농도

조사정점		2022년		2017년 ~ 2021년
		종명	^{90}Sr 방사능농도 (mBq/kg-fresh)	^{90}Sr 방사능농도 (mBq/kg-fresh)
동해	강릉(62해구)	농어	<8.75	<6.79
남해	여수(97해구)	송어	<6.09	<11.0~64.3
서해	인천(154해구)	넙치	<6.74	<5.86~13.0
평균 (범위)			- (<6.09)	17.4±17.4 (<5.86~64.3)

< : 최소검출가능농도(MDA) 미만의 값

표 2.18 어류의 $^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도

조사정점		2022년		2017년 ~ 2021년
		종명	$^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도 (mBq/kg-fresh)	$^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도 (mBq/kg-fresh)
동해	강릉(62해구)	농어	<0.0363	<0.0334~0.0460
남해	여수(97해구)	송어	<0.0335	0.0366~0.202
서해	인천(154해구)	넙치	<0.0350	<0.0112~0.102
평균 (범위)			- (<0.0335)	0.0548±0.0205 (<0.0112~0.202)

< : 최소검출가능농도(MDA) 미만의 값

표 2.19 어류의 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비

조사정점		2022년		2017년 ~ 2021년
		종명	$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비	$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비
동해	강릉(62해구)	농어	-*	0.228±0.013**
남해	여수(97해구)	송어	-*	0.215~0.236
서해	인천(154해구)	넙치	-*	0.193±0.028**
평균 (범위)			-*	0.220±0.019 (0.193~0.236)

* : 최소검출가능농도(MDA) 미만으로 동위원소비 산출 불가

** : 단일 시료 측정값으로 농도범위 없음

표 2.20 어류의 ^{137}Cs 및 ^{40}K 방사능농도 (연중)

No	채취해구	종명	채취일시	^{137}Cs (mBq/kg-fresh)	^{40}K (Bq/kg-fresh)
1	70해구	갈치	2022.08.06	<25.9	45.4 ± 0.6
2	70해구	실줄고기	2022.08.06	30.3 ± 4.9	52.7 ± 0.7
3	82해구	칠성갈치	2022.08.06	<28.1	47.2 ± 0.7
4	82해구	청자갈치	2022.08.06	<17.0	21.9 ± 0.4
5	92해구	대구	2022.08.14	35.9 ± 4.3	59.7 ± 0.8
6	93해구	앨통이	2022.05.05	38.1 ± 6.1	71.4 ± 0.9
7	93해구	눈볼대	2022.01.25	87.2 ± 6.2	64.1 ± 0.8
8	93해구	앨통이	2022.02.23	47.6 ± 6.0	51.8 ± 0.7
9	94해구	대구	2022.01.16	98.1 ± 6.6	68.6 ± 0.9
10	94해구	고등어	2022.04.05	138 ± 8	105 ± 1
11	94해구	대구	2022.02.19	135 ± 8	80.9 ± 1.0
12	99해구	덕대	2022.02.16	60.7 ± 5.0	73.9 ± 0.9
13	104해구	반지	2022.04.30	<21.3	23.1 ± 0.4
14	104해구	참조기	2022.02.17	33.2 ± 4.7	64.3 ± 0.8
15	105해구	말쥐치	2022.02.18	<41.8	91.9 ± 1.1
16	105해구	가고시마셋멸	2022.02.21	63.7 ± 5.7	67.4 ± 0.8
17	105해구	달고기	2022.02.18	59.4 ± 6.6	79.6 ± 1.0
18	105해구	황아귀	2022.02.18	<18.8	42.2 ± 0.6
19	105해구	참조기	2022.05.27	<29.2	55.7 ± 0.8
20	105해구	꼬치고기	2022.02.18	91.2 ± 6.0	86.3 ± 1.0
21	106해구	갈치	2022.02.21	88.5 ± 6.8	84.0 ± 1.1
22	113해구	갈치	2022.03.23	27.7 ± 4.3	47.4 ± 0.6
23	113해구	망치고등어	2022.03.30	52.8 ± 5.1	85.8 ± 1.0
24	113해구	덕대	2022.03.20	72.4 ± 6.3	81.6 ± 1.0
25	173해구	멸치	2022.08.10	<40.7	78.7 ± 1.0
26	183해구	멸치	2022.08.22	<35.7	76.5 ± 1.0
27	183해구	까나리	2022.06.02	<17.3	26.1 ± 0.4
28	183해구	참홍어	2022.06.02	72.3 ± 5.5	68.5 ± 0.8
29	193해구	꼼치	2022.08.11	61.8 ± 5.2	82.6 ± 1.0
30	193해구	홍어	2022.08.11	68.4 ± 6.1	52.7 ± 0.7

< : 최소검출가능농도(MDA) 미만의 값

표 2.20 어류의 ^{137}Cs 및 ^{40}K 방사능농도 (연중) [계속]

No	채취해구	종명	채취일시	^{137}Cs (mBq/kg-fresh)	^{40}K (Bq/kg-fresh)
31	202해구	홍어	2022.04.18	51.1 ± 4.7	41.5 ± 0.6
32	210해구	참조기	2022.08.31	74.6 ± 6.6	113 ± 1
33	210해구	툰발매통이	2022.08.31	89.6 ± 6.4	84.6 ± 1.1
34	217해구	참조기	2022.07.28	143 ± 8	115 ± 1
35	219해구	멸치	2022.04.13	53.1 ± 6.7	66.4 ± 0.9
36	220해구	참가자미	2022.04.13	<30.2	55.4 ± 0.7
37	222해구	농어	2022.04.20	81.9 ± 6.6	69.3 ± 0.9
38	223해구	망치고등어	2022.08.22	48.5 ± 4.9	55.8 ± 0.7
39	223해구	갈치	2022.01.16	60.4 ± 5.7	58.7 ± 0.8
40	223해구	삼치	2022.04.20	161 ± 6	91.8 ± 1.0
41	223해구	넙치	2022.04.19	136 ± 6	73.5 ± 0.9
42	223해구	붉은메기	2022.05.20	83.5 ± 5.5	66.6 ± 0.8
43	223해구	민어	2022.04.20	64.5 ± 6.5	66.7 ± 0.9
44	224해구	참돔	2022.02.18	32.3 ± 5.9	85.2 ± 1.2
45	229해구	참조기	2022.03.20	<42.3	56.9 ± 0.7
46	232해구	녹줄돔	2022.08.07	44 ± 4.4	57.8 ± 0.7
47	232해구	툰발매통이	2022.08.07	95.6 ± 6.5	90.9 ± 1.1
48	233해구	고등어	2022.03.15	142 ± 7	83.3 ± 1.0
49	234해구	갯장어	2022.01.19	38.7 ± 4.4	56.3 ± 0.7
50	234해구	황돔	2022.05.06	54 ± 5.8	74.0 ± 0.9
51	234해구	고무꼭정이	2022.01.19	67.9 ± 6.3	98.7 ± 1.2
52	234해구	갯장어	2022.02.19	54 ± 5.8	90.1 ± 1.1
53	234해구	갈치	2022.02.09	96.6 ± 7.6	88.3 ± 1.1
54	242해구	참조기	2022.01.18	<32.2	58.3 ± 0.7
55	242해구	덕대	2022.04.10	64.2 ± 6.1	84.1 ± 1.1
56	243해구	병어	2022.05.11	61.4 ± 4.4	87.3 ± 1.0
57	244해구	갯장어	2022.08.22	22.2 ± 3.6	42.6 ± 0.5
58	244해구	덕대	2022.08.22	37.2 ± 4.1	72.4 ± 0.8
59	251해구	민어	2022.05.04	46.7 ± 4.8	71.8 ± 0.9
평균 (범위)				61.8 ± 35.1 ($<17.0 \sim 161$)	69.4 ± 20.1 ($21.9 \sim 115$)

< : 최소검출가능농도(MDA) 미만의 값

표 2.21 두족류, 절지동물의 ^{137}Cs 및 ^{40}K 방사능농도 (연중)

No	채취해구	종명	채취일시	^{137}Cs (mBq/kg-fresh)	^{40}K (Bq/kg-fresh)
1	55해구	갈고리흰오징어	2022.08.05	<19.9	37.2 ± 0.5
2	63해구	북쪽분홍새우	2022.08.05	<40.3	66.9 ± 0.9
3	93해구	살오징어	2022.01.16	<29.0	71.5 ± 0.9
4	99해구	살오징어	2022.01.18	<20.4	49.0 ± 0.6
5	105해구	살오징어	2022.02.12	<21.8	50.7 ± 0.6
6	106해구	참꼴뚜기	2022.08.25	<28.1	79.4 ± 0.9
7	106해구	참꼴뚜기	2022.08.08	<22.2	79.6 ± 0.9
8	106해구	화살꼴뚜기	2022.08.25	<17.6	68.5 ± 0.8
9	106해구	살오징어	2022.02.22	21.4 ± 3.6	64.6 ± 0.7
10	111해구	창꼴뚜기	2022.02.19	<27.1	63.8 ± 0.8
11	113해구	참문어	2022.03.20	<16.0	34.3 ± 0.5
12	151해구	살오징어	2022.09.16	<25.4	57.8 ± 0.7
13	171해구	살오징어	2022.08.21	<13.1	64.1 ± 0.8
14	172해구	살오징어	2022.08.16	<28.0	87.6 ± 1.0
15	183해구	마루자루새우	2022.06.03	<53.2	72.1 ± 1.1
16	191해구	반원늪꼴뚜기	2022.04.14	<20.1	46.5 ± 0.6
17	201해구	반원늪꼴뚜기	2022.04.23	<19.7	50.3 ± 0.6
18	233해구	살오징어	2022.08.09	<25.8	68.6 ± 0.8
19	234해구	참문어	2022.04.23	27.6 ± 2.6	24.7 ± 0.3
20	253해구	창꼴뚜기	2022.08.03	<25.0	69.2 ± 0.8
21	463해구	깨다시꽃게	2022.08.04	<81.2	49.9 ± 1.0
평균 (범위)				27.8 ± 15.0 (<13.1~<81.2)	59.8 ± 16.0 (24.7~87.6)

< : 최소검출가능농도(MDA) 미만의 값

나. 패류

우리나라 연안 7개 해구에서 채취한 패류의 육질에서 ^{137}Cs , ^{40}K , ^{90}Sr 및 $^{239+240}\text{Pu}$ 의 방사능 농도와 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비를 조사하였다(표 2.22~2.26). 패류의 ^{137}Cs 방사능농도는 모두 최소검출가능농도 미만이었다. ^{40}K 의 방사능농도 범위는 17.0~92.7 Bq/kg-fresh 이고, ^{90}Sr 방사능농도는 모두 최소검출가능농도(<2.98 mBq/kg-fresh) 미만이었다. $^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도 범위는 1.60~2.92 mBq/kg-fresh이고, $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비의 범위는 0.218~0.238 였다.

표 2.22 패류의 ^{137}Cs 방사능농도

조사정점		2022년		2017년~2021년
		종명	^{137}Cs 방사능농도 (mBq/kg-fresh)	^{137}Cs 방사능농도 (mBq/kg-fresh)
동해	강릉(62해구)	비늘백합	<15.9	<30.9
	포항(87해구)	고동	<34.0	<27.0
남해	여수(97해구)	홍합	<11.8	<11.1
	여수(97해구)	굴	<25.3	-*
	통영(99해구)	홍합	<11.1	<13.9
	통영(99해구)	굴	<22.5	-*
	완도(213해구)	굴	<20.9	<24.3
서해	군산(174해구)	소라	<28.5	<40.6
	인천(154해구)	소라	<28.7	<23.4
평균 (범위)			- (<11.1)	- (<11.1)

< : 최소검출가능농도(MDA) 미만의 값 / * : 최근 5년간 채취되지 않아 농도범위 없음

표 2.23 패류의 ^{40}K 방사능농도

조사정점		2022년		2017년~2021년
		종명	^{40}K 방사능농도 (Bq/kg-fresh)	^{40}K 방사능농도 (Bq/kg-fresh)
동해	강릉(62해구)	비늘백합	17.0 ± 0.3	17.7~35.9
	포항(87해구)	고동	92.7 ± 0.9	78.5~85.5
남해	여수(97해구)	홍합	27.9 ± 0.4	9.26~39.2
	여수(97해구)	굴	66.4 ± 0.8	-*
	통영(99해구)	홍합	29.7 ± 0.4	15.9~27.9
	통영(99해구)	굴	61.0 ± 0.6	-*
	완도(213해구)	굴	60.2 ± 0.7	$40.5 \pm 0.5^{**}$
서해	군산(174해구)	소라	52.9 ± 0.7	$69.7 \pm 0.9^{**}$
	인천(154해구)	소라	54.7 ± 0.6	60.5 ~ 61.5
평균 (범위)			51.4 ± 23.2 (17.0~92.7)	38.3 ± 22.0 (9.26~85.5)

* : 최근 5년간 채취되지 않아 농도범위 없음 / ** : 단일 시료 측정값으로 농도범위 없음

표 2.24 패류의 ^{90}Sr 방사능농도

조사정점		2022년		2017년~2021년
		종명	^{90}Sr 방사능농도 (mBq/kg-fresh)	^{90}Sr 방사능농도 (mBq/kg-fresh)
동해	포항(87해구)	고동	<9.44	<8.73~<14.4
남해	여수(97해구)	홍합	<2.98	4.62~<6.81
서해	군산(174해구)	소라	<7.50	<11.8
평균 (범위)			- (<2.98)	9.63 ± 3.77 (4.62~<14.4)

< : 최소검출가능농도(MDA) 미만의 값

표 2.25 패류의 $^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도

조사정점		2022년		2017년~2021년
		종명	$^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도 (mBq/kg-fresh)	$^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도 (mBq/kg-fresh)
동해	포항(87해구)	고동	1.60 ± 0.07	1.82~3.49
남해	여수(97해구)	홍합	2.92 ± 0.15	1.26~3.46
서해	군산(174해구)	소라	2.20 ± 0.11	$2.12 \pm 0.29^*$
평균 (범위)			2.24 ± 0.66 (1.60~2.92)	2.46 ± 0.84 (1.26~3.49)

* : 단일 시료 측정값으로 농도범위 없음

표 2.26 패류의 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비

조사정점		2022년		2017년~2021년
		종명	$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비	$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비
동해	포항(87해구)	고동	0.229 ± 0.018	0.229~0.240
남해	여수(97해구)	홍합	0.238 ± 0.018	0.220~0.239
서해	군산(174해구)	소라	0.218 ± 0.017	$0.217 \pm 0.070^*$
평균 (범위)			0.228 ± 0.008 (0.218~0.238)	0.230 ± 0.008 (0.217~0.240)

* : 단일 시료 측정값으로 농도범위 없음

다. 해조류

우리나라 연안 7개 해구에서 채취된 미역, 톳, 청각 중의 ^{137}Cs , ^{40}K , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{131}I 의 방사능농도와 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비를 조사하였다(표 2.27~2.32). 해조류 중 ^{137}Cs 의 방사능농도는 모두 최소검출가능농도(<15.5 mBq/kg-fresh) 미만이었고, ^{40}K 의 방사능농도 범위는 7.53~382 Bq/kg-fresh로 청각의 ^{40}K 의 방사능농도가 다른 해조류에 비해 낮았다. 해조류 중 ^{90}Sr 방사능농도는 평균 13.5 ± 1.7 mBq/kg-fresh, $^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도는 평균 1.78 ± 0.19 mBq/kg-fresh, $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비의 평균은 0.228 ± 0.010 였다. 해조류 중 ^{131}I 방사능농도의 범위는 대부분 검출하한치 이하였으며, 검출된 ^{131}I 핵종의 방사능농도는 과거 10년간(2012~2021) 조사된 농도 범위 이내(<36.9~804) 수준이었다.

표 2.27 해조류의 ^{137}Cs 방사능농도

조사정점		2022년		2017년~2021년
		종명	^{137}Cs 방사능농도 (mBq/kg-fresh)	^{137}Cs 방사능농도 (mBq/kg-fresh)
동해	강릉(62해구)	미역	<51.8	<40.7
	포항(87해구)	미역	<40.8	<45.9
남해	여수(97해구)	미역	<38.7	-*
	여수(97해구)	청각	<17.7	<16.7
	통영(99해구)	톳	<70.7	<80.0
	통영(99해구)	청각	<19.2	<18.2
	완도(213해구)	미역	<78.0	<44.3
	완도(213해구)	다시마	<52.9	<49.8
서해	인천(154해구)	김	<15.5	<36.8
	군산(174해구)	구멍쇠미역	<80.1	<58.0
평균 (범위)			- (<15.5)	- (<16.7)

< : 최소검출가능농도(MDA) 미만의 값

* : 최근 5년간 채취되지 않아 농도범위 없음

표 2.28 해조류의 ^{40}K 방사능농도

조사정점		2022년		2017년~2021년
		종명	^{40}K 방사능농도 (Bq/kg-fresh)	^{40}K 방사능농도 (Bq/kg-fresh)
동해	강릉(62해구)	미역	154 ± 2	130~156
	포항(87해구)	미역	181 ± 2	139~239
남해	여수(97해구)	미역	117 ± 1	-*
	여수(97해구)	청각	7.53 ± 0.17	5.26~13.3
	통영(99해구)	톳	382 ± 4	347~399
	통영(99해구)	청각	7.60 ± 0.19	6.02~120
	완도(213해구)	미역	286 ± 3	$219 \pm 2^{**}$
	완도(213해구)	다시마	269 ± 3	$301 \pm 3^{**}$
서해	군산(174해구)	구멍쇠미역	358 ± 4	175~344
	인천(154해구)	김	66.1 ± 0.8	$102 \pm 1^{**}$
평균 (범위)			183 ± 137 (7.53~382)	166 ± 120 (5.26~399)

* : 최근 5년간 채취되지 않아 농도범위 없음

** : 단일 시료 측정값으로 농도범위 없음

표 2.29 해조류의 ^{90}Sr 방사능농도

조사정점		2022년		2017년~2021년
		종명	^{90}Sr 방사능농도 (mBq/kg-fresh)	^{90}Sr 방사능농도 (mBq/kg-fresh)
동해	포항(87해구)	미역	<13.3	<10.2~42.4
남해	여수(97해구)	미역	15.3 ± 3.6	-*
서해	군산(174해구)	미역	12.0 ± 3.6	<12.3
평균 (범위)			13.5 ± 1.7 (12.0~15.3)	20.0 ± 11.6 (<10.2~42.4)

* : 최근 5년간 채취되지 않아 농도범위 없음

< : 최소검출가능농도(MDA) 미만의 값

표 2.30 해조류의 $^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도

조사정점		2022년		2017년~2021년
		종명	$^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도 (mBq/kg-fresh)	$^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도 (mBq/kg-fresh)
동해	포항(87해구)	미역	1.97 ± 0.10	2.48~4.08
남해	여수(97해구)	미역	1.59 ± 0.08	$3.07 \pm 0.07^*$
서해	군산(174해구)	구멍쇠 미역	1.78 ± 0.09	$2.29 \pm 0.13^*$
평균 (범위)			1.78 ± 0.19 (1.59~1.97)	2.88 ± 0.60 (2.29~4.08)

* : 단일 시료 측정값으로 농도범위 없음

표 2.31 해조류의 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비

조사정점		2022년		2017년 ~ 2021년
		종명	$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비	$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비
동해	포항(87해구)	미역	0.236 ± 0.018	$0.220 \sim 0.233$
남해	여수(97해구)	미역	0.231 ± 0.018	$0.223 \pm 0.016^*$
서해	군산(174해구)	구멍쇠 미역	0.220 ± 0.024	$0.213 \pm 0.027^*$
평균 (범위)			0.229 ± 0.008 ($0.220 \sim 0.236$)	0.225 ± 0.007 ($0.213 \sim 0.233$)

* : 단일 시료 측정값으로 농도범위 없음

표 2.32 해조류의 ^{131}I 방사능농도

조사정점		2022년		2017년 ~ 2021년
		종명	^{131}I 방사능농도 (mBq/kg-fresh)	^{131}I 방사능농도 (mBq/kg-fresh)
동해	강릉(62해구)	미역	<56.4	<31.4
	포항(87해구)	미역	84.8 ± 6.6	<36.9
남해	여수(97해구)	미역	<40.4	-*
	여수(97해구)	청각	<13.2	<11.2
	통영(99해구)	툇	<62.0	<71.9
	통영(99해구)	청각	<12.1	<14.0
	완도(213해구)	미역	<49.2	<74.4
	완도(213해구)	다시마	<81.1	<88.8
서해	인천(154해구)	김	<19.1	<34.8
	군산(174해구)	구멍쇠미역	<76.8	<50.0
평균 (범위)			49.5 ± 27.7 ($<12.1 \sim 84.8$)	- (<11.2)

< : 최소검출가능농도(MDA) 미만의 값

* : 최근 5년간 채취되지 않아 농도범위 없음

III. 해수방사능감시망 운영

Ⅲ. 해수방사능감시망 운영

1. 목적 및 필요성

우리나라 주변 해양의 시료를 채취하고 분석하는 방사능 감시 활동과 별도로 원자력 발전소 사고 등으로 인한 세슘의 특이변화 모니터링을 위해 2018년 7월부터 해수방사능 감시망을 구축하여 운영하고 있다.

2. 해수방사능감시망 설치 위치

한국원자력안전기술원은 2022년 12월 기준 동·서·남해 해역 21개소에 설치된 해수 방사능감시기를 통해 세슘의 특이변화를 감시하였다(표 3.1 및 그림 3.1). 이 중 15개소는 국립해양조사원의 협조를 통해 해양관측시설(조위관측소; 속초, 묵호, 후포, 포항, 울산, 거제, 고흥, 제주, 모슬포, 진도, 흑산도, 영광, 군산, 서산, 인천)에 설치하여 운영하고 있으며, 4개소는 한국수력원자력 및 기상청의 협조를 통해 해양부이(buoy; 고리, 울진, 서해, 서남해), 2개소는 민간의 협조를 통해 항만(백령도)과 선박(묵호-독도)에 각각 설치하여 운영 중에 있다.

표 3.1 해수방사능감시망 감시지점

구분	지점	설치년도	개소
해양관측부이	고리	2013	4
	울진	2019	
	서해, 서남해	2020	
선박	선박(여객선: 묵호↔독도)	2014	1
해양관측시설 및 항만	백령도(항만) 군산, 묵호, 속초, 인천, 후포	2016	16
	거제, 고흥, 모슬포, 서산, 영광, 제주, 진도, 흑산도	2017	
	포항, 울산	2021	
계	21 개소		

배터리 전력을 사용하고 있다.

주요 감시대상핵종은 원자력발전소 사고 시 상대적으로 배출량이 많은 ^{137}Cs (661.66 keV, 반감기 약 30년)을 표적으로 하여, NaI(Tl) 섬광체를 이용한 감마선분광분석시스템으로 관심영역(ROI)의 순계수율을 매 15분 단위로 수집하고 있다.

국내 연안 지점에 대해 수행되고 있는 감시활동에 추가로 먼 바다 지점에 대한 감시를 위해, 2020년 11월 한·중잠정조치수역 인근 2개(서해, 서남해) 정점에 해수방사능 감시기를 설치하였다. 해당 지점은 기상청에서 운영 중인 해양관측부이 시설을 협조 받아 설치하였으며, 2021년 시험운영 기간을 거쳐 적합성을 평가한 후, 2022년 정상운영을 시작하였다. 감시기는 현장 환경에 적합한 검출부와 컨트롤러부, 전원공급을 위한 태양전지 모듈 및 배터리, 위성통신을 위한 모뎀과 안테나로 구성되어 있다.

표 3.2 해수방사능감시기 사양

검출기	구분	세부 사양
NaI(Tl) 섬광형 검출기	형태	3" × 3" PMT 일체형
	에너지분해능	~7% (FWHM, ^{137}Cs)
컨트롤러	중량	3 kg ± 10%
	외장 하우징	IP66 등급 이상
	전자부	Surge absorber 및 Noise filter 기능
	통신	4G LTE 또는 위성통신 모뎀
	소모전력	< 2W (통신부 제외)
방수하우징	크기	130×760 mm, < 10 kg
	재질	MC Nylon 수지 계열 또는 Stainless steel

해수방사능감시망 운영프로그램은 현장의 해수방사능감시기와 TCP/IP 통신기반으로 15분 간격으로 방사선측정 데이터 및 운영정보를 수집·관리하며, 다양한 실시간 분석을 수행하여 이상 여부를 감지하고, 웹 및 모바일 기반으로 정보를 제공하여 해수방사능 감시 업무를 효과적으로 지원하도록 운영 중에 있으며, 운영체계는 그림 3.2와 같다. 해수방사능감시망 운영프로그램은 감시망 증설에 대비하여 확장성이 확보되어 있고, 해수방사능감시기의 이상 유무를 실시간으로 감시하여 특이사항 발생 시 내역을 SMS로 관리자에게 발송하여 즉각적으로 인지할 수 있도록 운영되고 있다.

한편, 효율적인 감시망 운영관리를 위하여 기존 사용 중인 해수방사능감시망 운영프

로그래밍의 기능추가 개발을 수행하였다. 개발된 주요 기능으로는 금년부터 정상운영을 시작한 원해 해수방사능감시기 2개소(서해, 서남해)에 대한 위성데이터 수집/처리 기능과 핵종 라이브러리 편집 및 수집된 감마 스펙트럼에 대한 방사능분석 기능이 있다.

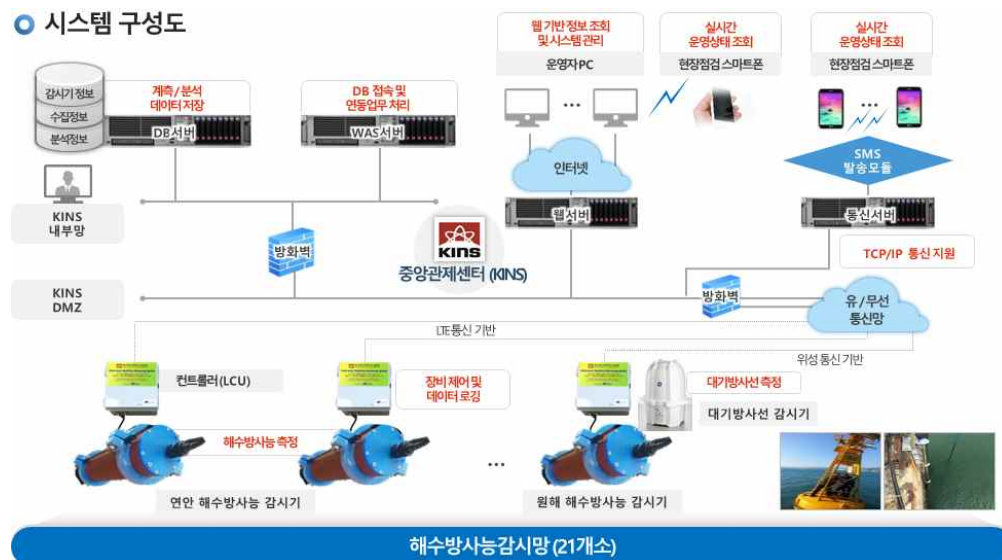


그림 3.2 해수방사능감시망 운영 체계도

해수방사능감시망은 데이터 품질확보와 감시공백의 최소화를 위해, 주기적 유지보수 활동을 수행하고 있다. 유지보수는 각 지점에 대한 방문 정기점검과 장애 발생 시 조치를 위한 긴급점검으로 구성되며, 점검 시 검출부를 회수하여 외관 세척 및 방오(anti-fouling)작업, 브라켓 및 방수하우징 부식여부 확인 및 교체, 장비 동작 및 통신점검 등의 작업이 이루어진다. 또한, 해수방사능감시망 운영프로그램을 통해 원격으로 감시결과 수집현황 및 데이터 이상여부, 장비 이상여부를 일간 모니터링하고 있다.

4. 해수방사능감시망 운영 결과

2022년도 해수방사능감시망 운영결과, 모든 감시소에서 인공핵종(^{137}Cs)은 최소검출 가능농도(MDA) 미만(최대 MDA: 0.44 Bq/L, 최소 MDA: 0.04 Bq/L) 이었다. 감시 데이터는 각 감시소에서 수집된 감마선 스펙트럼 상의 ^{137}Cs 의 관심영역(ROI; Region Of Interest)에서 백그라운드를 제거한 순계수율에 MCNP 전산모사를 통해 산출한 효율을 적용하여 산출하였다.

2022년 해수방사능감시망의 일평균 데이터 수집률은 99.7%로 2020년(98.1%), 2021년(99.9%)에 이어 안정적인 모습을 보이고 있다. 데이터 수집률 산정 시, 협조기관의 사정(시설 운영중단, 이전, 점검 등)으로 감시가 중단된 기간은 제외하였다.

IV. 결 론

IV. 결 론

본 사업은 우리나라 해양환경방사능 준위분포 및 변동의 추이를 분석하여 국내·외에서 발생한 방사선사고로부터 우리나라 주변 해역에 미치는 방사능 영향을 판단함으로써 국민건강과 환경보전을 하는데 그 목적이 있다.

1994년부터 시작한 해양방사능 감시는 동해, 서해 및 남해수산연구소에 위탁하여 해수, 해양생물 및 해저퇴적물 시료를 확보하였으며, 이들 해양시료를 대상으로 ^{137}Cs , ^3H , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ 방사능농도 및 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비를 조사하였다. 1994년 이후 누적된 조사 결과를 바탕으로 해수에서 핵종별로 연도별 방사능농도 분포, 공간적 농도 분포를 평가하였다. 아울러, 해수, 어류, 해조류, 패류 및 해저퇴적물의 방사능농도 평가를 위한 기초자료 확보 목적으로 해수, 해저퇴적물 및 해양생물의 특성 조사도 수행하였다.

우리나라 주변 해역에서 채취한 2022년도 환경시료 중 인공방사성핵종의 농도범위와 동위원소비의 범위는 최근 5년간 조사된 방사능 농도 범위와 비슷한 경향을 나타내었다. 특히 표층 해수 중 ^{137}Cs 의 방사능 농도는 0.843~2.26 mBq/kg으로 나타났으며, 이는 최근 5년간 조사된 방사능 농도 범위(0.828~2.43 mBq/kg) 및 후쿠시마 원전 사고 이전에 조사된 방사능 농도 범위(<1.19~4.04 mBq/kg) 유사한 수준이다. 한편, 해수 방사능감시망 운영 결과 모든 감시지점에서 최소검출가능농도(MDA) 미만으로 특이사항은 없었다.

이상과 같이, 1994년부터 수행하고 있는 해양환경방사능 조사는, 그 자료를 축적함으로써 만일의 사고시 우리나라 주변해역에 미치는 방사능 영향을 판단할 수 있는 중요한 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

부 록. 1. 해양환경 조사

1. 조사내용

해양환경과 방사능 조사 결과를 연계하여 분석하기 위해 국립수산물과학원 동해·서해·남해 수산연구소에 위탁하여 해양환경(물리·화학적, 생물학적, 지질학적) 조사를 수행하였다. 해양환경조사 내용은 표 1과 같다.

표 1 해양환경 조사내용

구분	조사대상	분석항목	조사시기	조사지점
해수	표층 해수	수온, 염분, 영양염, 부유물질	4, 8월	34개 정점
	수심별해수		4, 8월	6개 정점
해양생물	어류	우점종	4~5월	7개 정점
			8~10월	7개 정점
	패류	우점종	4~5월	7개 정점
			8월	2개 정점
	해조류	우점종	3~5월	7개 정점
			8~10월	3개 정점
퇴적물	해저퇴적물 (0~5cm)	입도조성, 평균입도 등	2~4월	15개 정점

2. 조사방법 및 분석방법

2.1 물리·화학적 조사

우리나라 주변 해역에서의 수온과 염분은 CTD(SBE 19, Idronaut 320)를 이용하여 관측하였다. 영양염은 Niskin bottle을 이용하여 채수한 후, 질산질소는 Cu-Cd 칼럼을 이용한 아질산 환원법으로, 아질산질소는 α -NED 제2 염산염법으로 측정하였고, 인산인과 규산규소는 몰리브덴 청법으로 비색 정량하였다(해양환경공정시험방법, 2002). 부유물질은 현장에서 시료를 1000 ml용 폴리에틸렌병에 채수하여 실험실에서 운반, 미리 건조시켜 무게를 측정한 GF/C 여과지(지름 47 mm)로 여과한 후, 105℃에서 2시간 건조해 데시케이터 속에서 30분간 실온으로 식힌 후 무게를 측정하여 여과 전, 후의 여과지 무게차로 부유물질량을 계산하고 mg/L로 표시하였다.

2.2 생물학적 조사

우리나라 주변 연근해에서 해양생물은 해양수산부 산하 국립수산물과학원에서 확보하여 한국원자력안전기술원에 제공하였다. 연근해에서 어로 행위로 어획한 어류를 수산물 공동 위판장에서 유통되기 전에 어민으로부터 조사원이 구매한 시료이다. 패류와 해조류는 현지 수산물 공동 위판장 및 어촌계에서 생산지를 확인한 후 대상해역에서 우점하는 시료를 구매하였다. 동해, 서해와 남해에서 해양생물(어류, 패류, 해조류)의 증명, 채집지점, 채집일자 및 해구번호(국립해양조사원, 2005)를 표 2~4에 나타내었다.

표 2 동해의 해양생물 증명 및 채집지점

종류	구매지점	해구번호	채집일자	시료명	학명
어류	강릉	62	2022.04.13	농어	<i>Lateolabrax japonicus</i>
			2022.09.16	방어	<i>Seriola quinqueradiata</i>
	포항	87	2022.05.16	방어	<i>Seriola quinqueradiata</i>
			2022.09.13	삼치	<i>Scomberomorus niphonius</i>
패류	강릉	62	2022.04.13	비늘백합	<i>Mercenaria stimpsoni</i>
	포항	87	2022.05.16	물레고둥	<i>Buccinum striatissimum</i>
해조류	강릉	62	2022.04.12	미역	<i>Undaria pinnatifida</i>
	포항	87	2022.05.16	미역	<i>Undaria pinnatifida</i>

표 3 남해의 해양생물 종명 및 채집지점

종류	구매지점	해구번호	채집일자	시료명	학명
어류	여수	97	2022.04.06	송어	<i>Mugil cephalus</i>
			2022.08.18	방어	<i>Seriola quinqueradiata</i>
	통영	99	2022.04.07	조기	<i>Larimichthys polyactis</i>
			2022.08.17	성대	<i>helidonichthys spinosus</i>
	완도	213	2022.04.05	송어	<i>Mugil cephalus</i>
			2022.10.03	방어	<i>Seriola quinqueradiata</i>
			2022.10.12	삼치	<i>Scomberomorus niphonius</i>
패류	여수	97	2022.04.05	굴	<i>Crassostrea gigas</i>
			2022.08.17	홍합	<i>Mytilus coruscus</i>
	통영	99	2022.04.07	굴	<i>Crassostrea gigas</i>
			2022.08.22	홍합	<i>Mytilus coruscus</i>
	완도	213	2022.04.05	굴	<i>Crassostrea gigas</i>
해조류	여수	97	2022.04.05	미역	<i>Undaria pinnatifida</i>
			2022.08.17	청각	<i>Codium fragile</i>
	통영	99	2022.04.07	툇	<i>Hizikia fusiforme</i>
			2022.08.22	청각	<i>Codium fragile</i>
	완도	213	2022.04.10	미역	<i>Undaria pinnatifida</i>
			2022.10.12	다시마	<i>Laminaria japonica</i>

표 4 서해의 해양생물 종명 및 채집지점

종류	구매지점	해구번호	채집일자	시료명	학명
어류	인천	154	2022.04.15	넙치	<i>Paralichthys olivaceus</i>
			2022.08.30	병어	<i>Pampusargenteus</i>
	태안	174	2022.04.21	넙치	<i>Paralichthys olivaceus</i>
			2022.08.31	넙치	<i>Paralichthys olivaceus</i>
패류	인천	154	2022.04.25	피빨고둥	<i>Rapana venosa</i>
	태안	174	2022.04.21	피빨고둥	<i>Rapana venosa</i>
해조류	인천	154	2022.03.28	김	<i>Porphyra tenera</i>
	군산	174	2022.03.25	곰피	<i>Eckloniastolonifera</i>

2.3 해저퇴적물 조사

우리나라 주변 해양환경조사 정점 중 15개 정점을 선정하여 조사선(탐구 3호, 탐구 8호)에서 채니기로 채취하여 해저퇴적물의 입도조성 및 조직변수를 분석하였다.

입도분석은 퇴적물을 약 10 g 정도(sand의 경우 20 g) 취하여 1 L 비이커에 담은 후 증류수를 첨가하고 막대를 이용하여 입자를 완전히 분리시킨 후 염분을 제거하고, 10% H₂O₂와 0.1N HCl을 차례로 넣어 유기물과 CaCO₃을 완전히 제거한 후 침전물을 여러차례 증류수로 세척하여 각종 염과 침전물을 제거하였다. 세척된 시료는 그물눈 4ø(0.0625 mm, 1/16 mm) 표준체로 물 체질(wet sieving) 하여 4ø보다 큰 조립질에 대해서는 110℃에서 24시간 동안 진탕기(Ro-Tap sieve shaker)를 사용하여 건식체질(dry-sieving)을 한 후 1ø 간격으로 입도별 무게 백분율을 구하였다. 4ø 이하의 세립질에 대해서는 1 L 메스실린더에 넣어 증류수를 첨가하고 확산 제인 20% calgon(sodium hexametaphosphate, (NaPO₃)₆)용액 10 ml를 첨가하여 5~10분간 저어 하루 동안 충분히 확산시킨 뒤 입자들이 응결되지 않았을 때 pipetting법으로 분석하였다. 분석입도 간격은 1ø이며, 분석결과로부터 아래의 식 Folk and Ward(1957)의 방법에 의하여 평균입도(mean grain size)와 분급도(sorting)를 계산하였다.

$$\text{Mean}(M_z) = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}, \quad \text{Sorting} = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$$

Folk, 1968

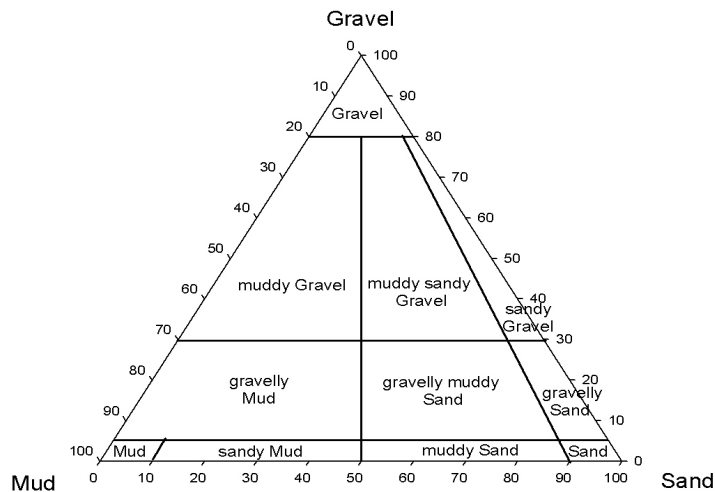


그림 1 해저퇴적물 퇴적상 분류도

해저퇴적물의 입도조성의 분류방법은 Folk(1968)를 따랐다(그림 1). Folk의 삼각좌표에 도시한 결과에 따라 모래(sand), 니질모래(muddy sand), 사질실트(sandy silt), 니토(mud), 실트질모래(silty sand) 등의 퇴적상을 분류하였다.

3. 조사결과

3.1 수온 · 염분

2022년 4월 동해, 남해, 서해 수심별 해수 채수 정점인 105-11, 106-05, 313-09, 314-01, 307-09, 311-09의 수온 및 염분의 연직분포도를 그림 2~4에 나타내었다. 정점별 8월 수온 및 염분의 연직분포도는 그림 5~7과 같다.

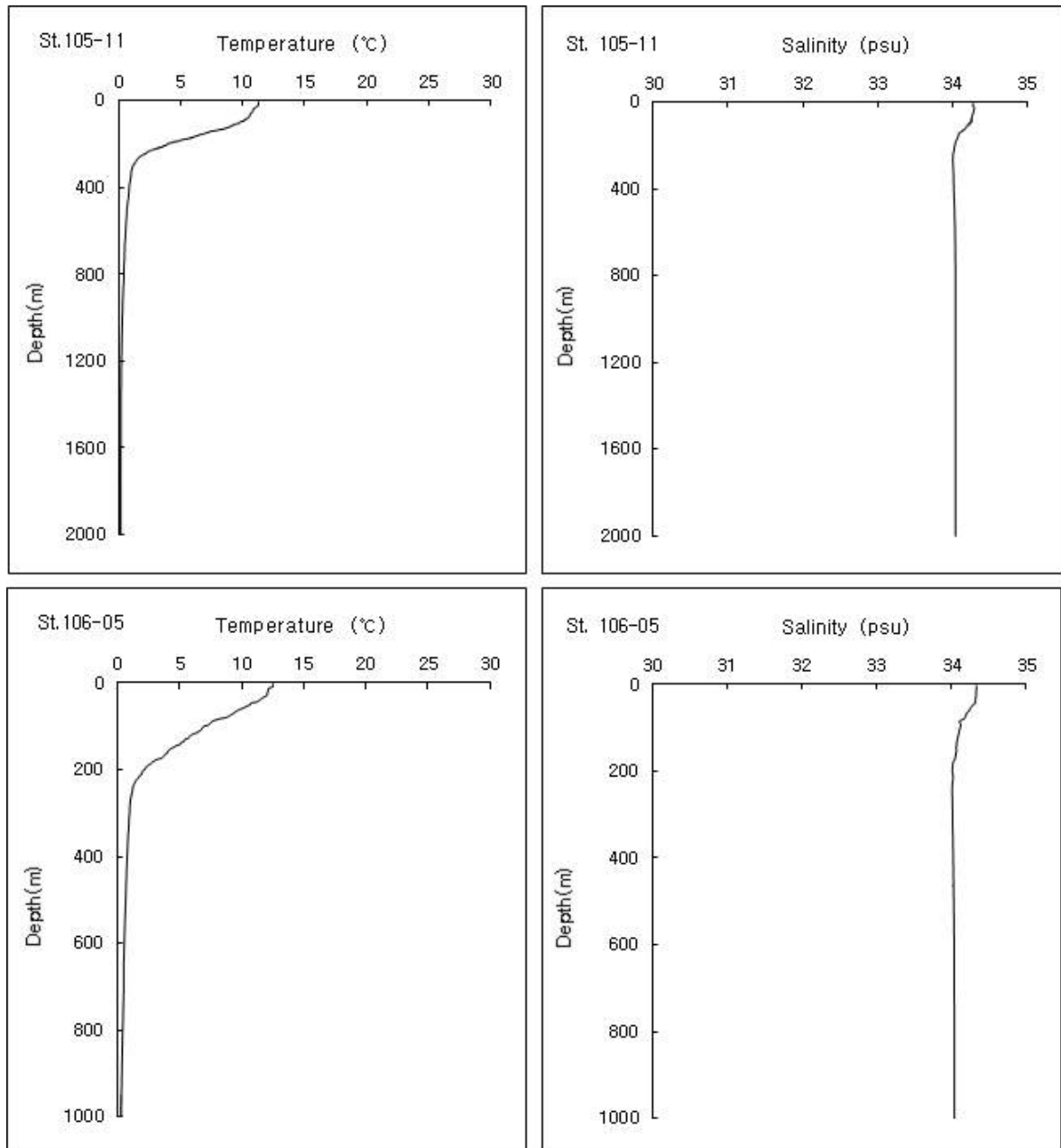


그림 2 동해 수온, 염분의 연직구조 (4월)

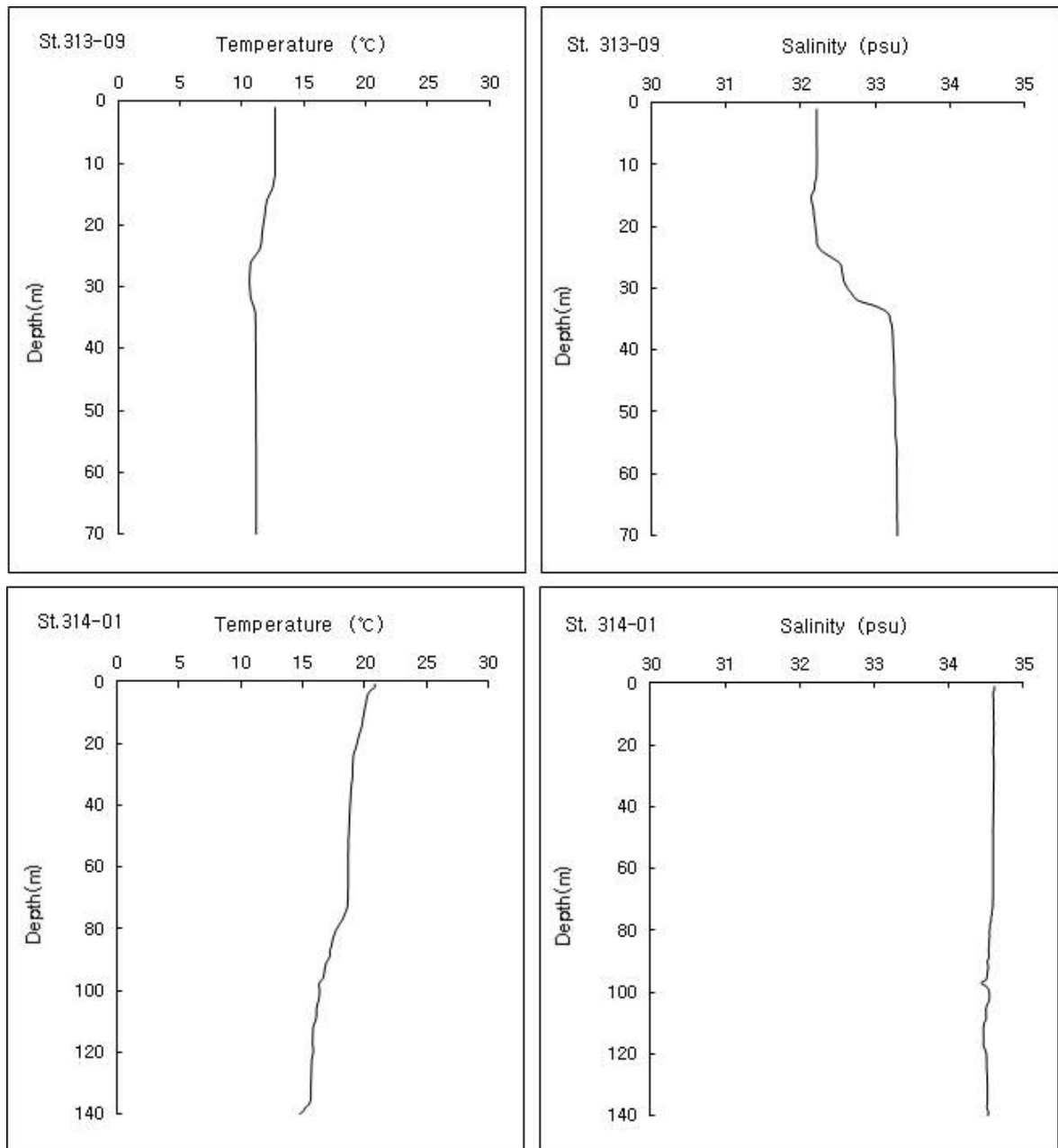


그림 3 남해 수온, 염분의 연직구조 (4월)

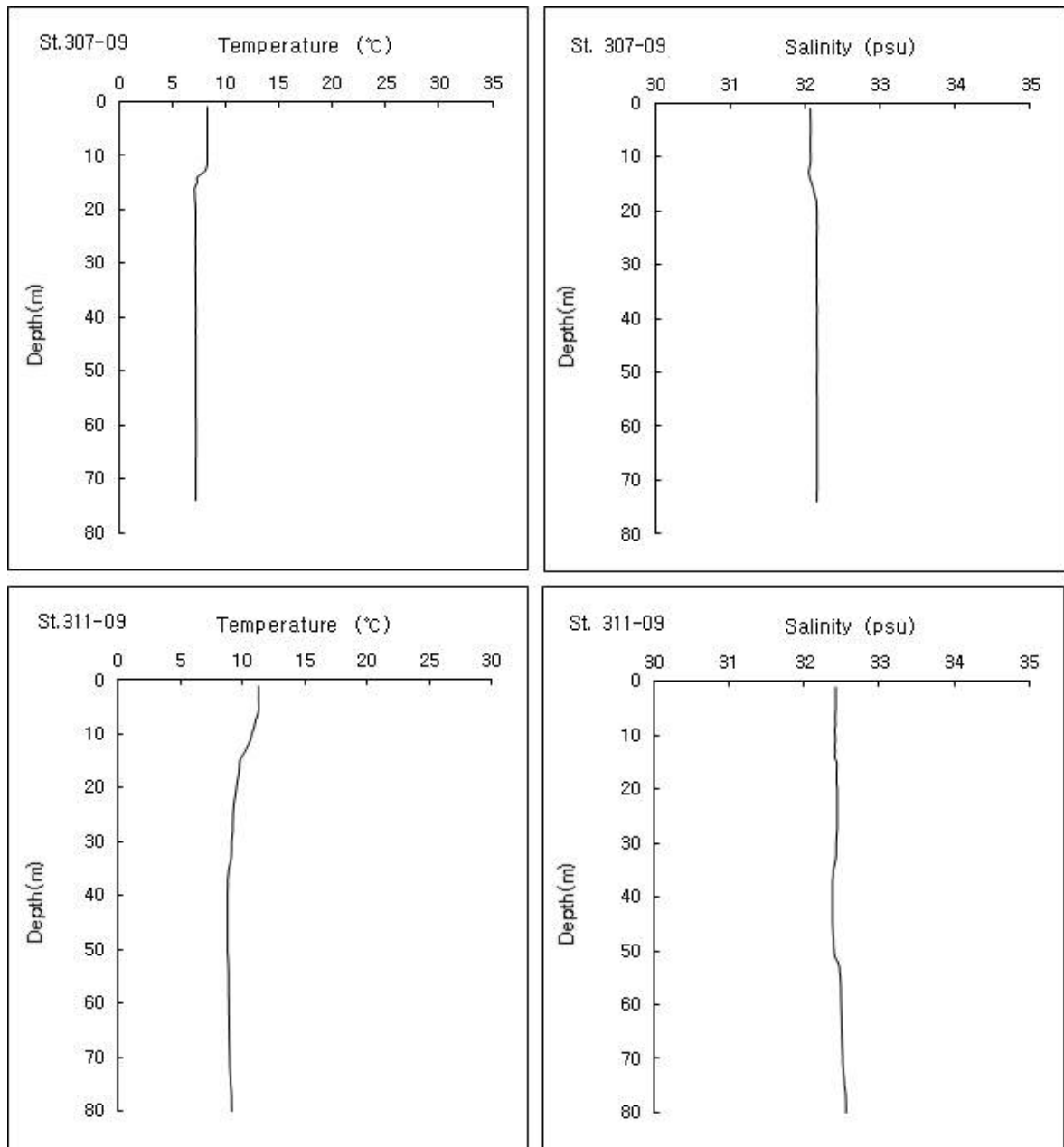


그림 4 서해 수온, 염분의 연직구조 (4월)

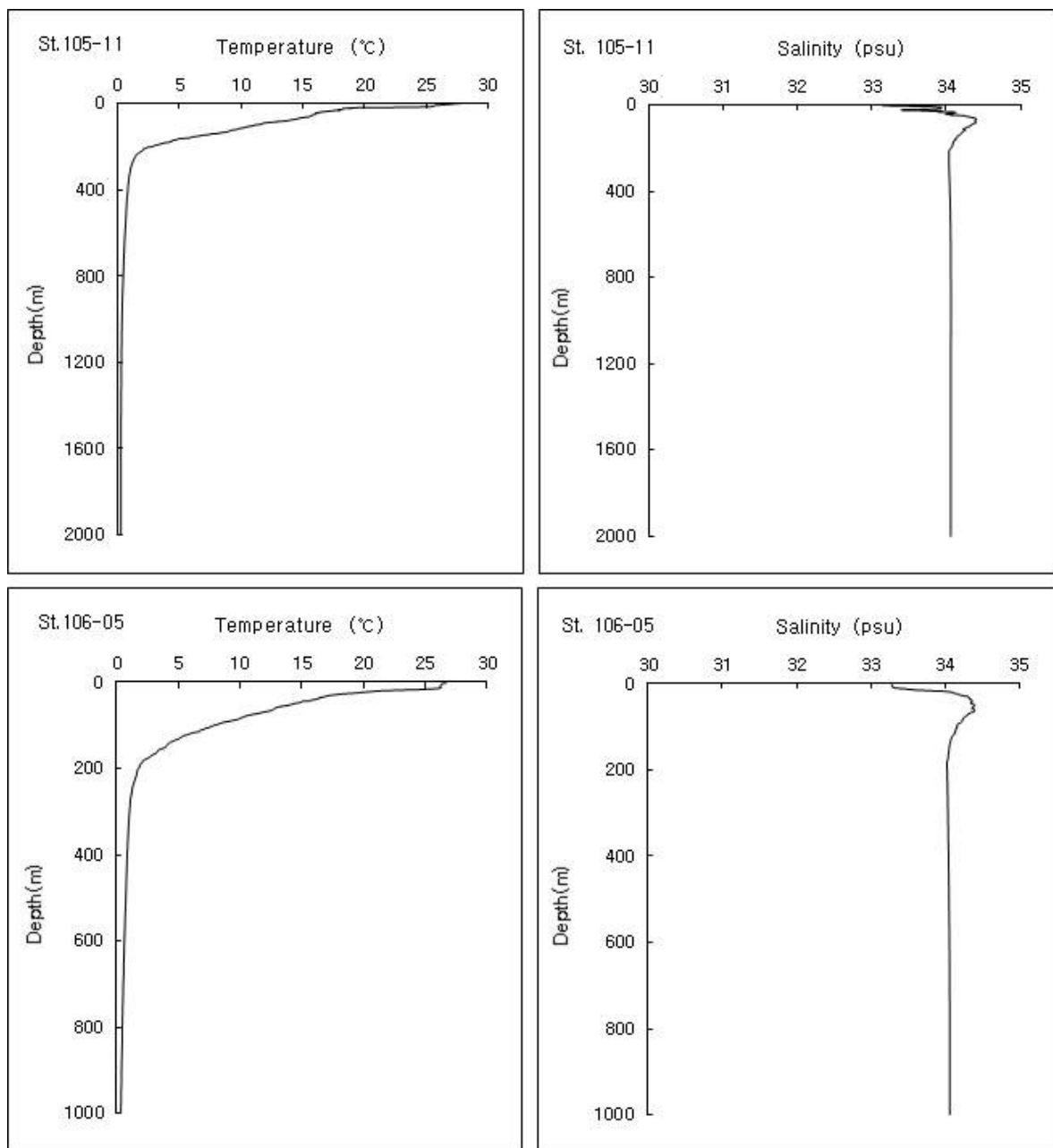


그림 5 동해 수온, 염분의 연직구조 (8월)

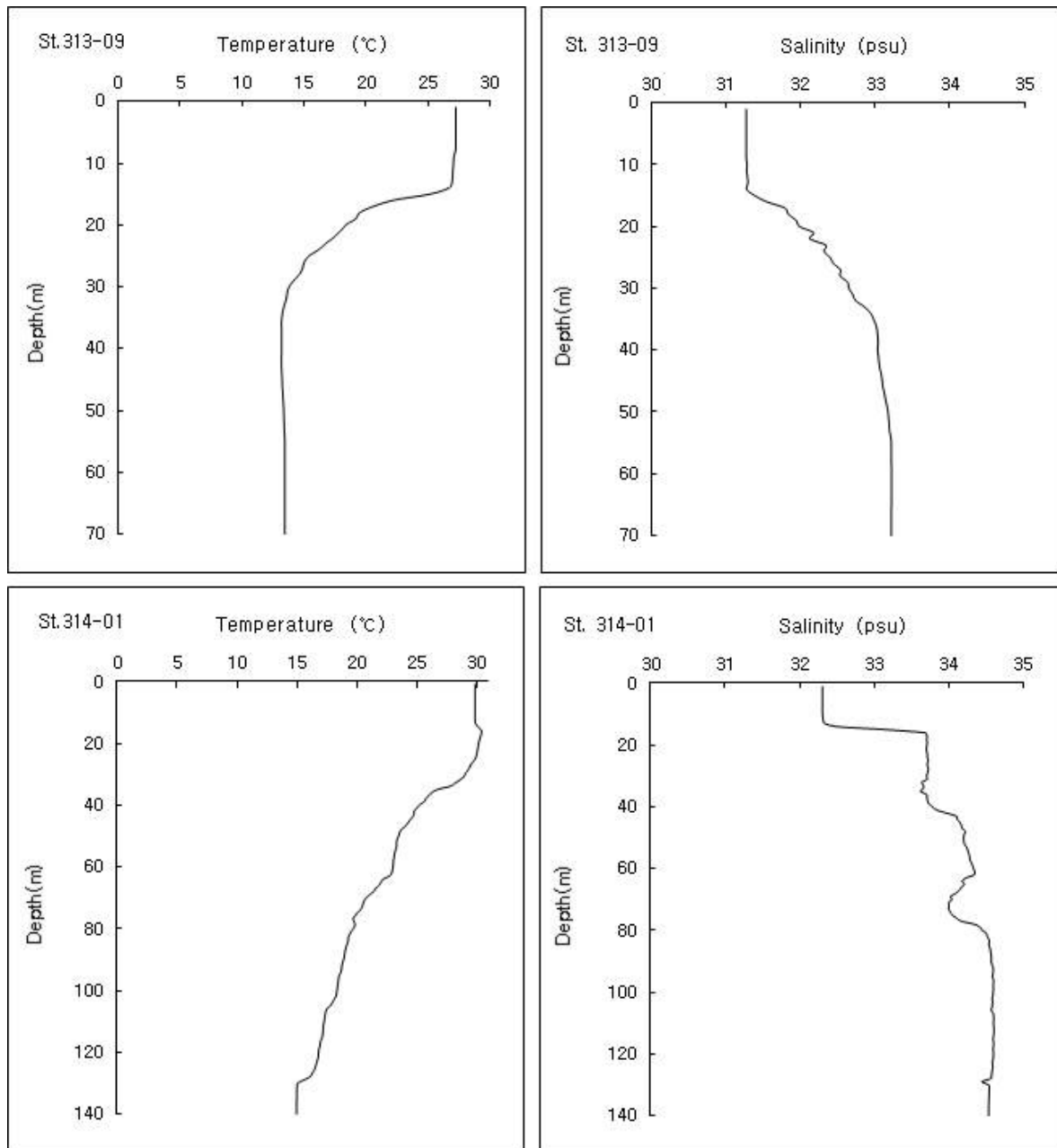


그림 6 남해 수온, 염분의 연직구조 (8월)

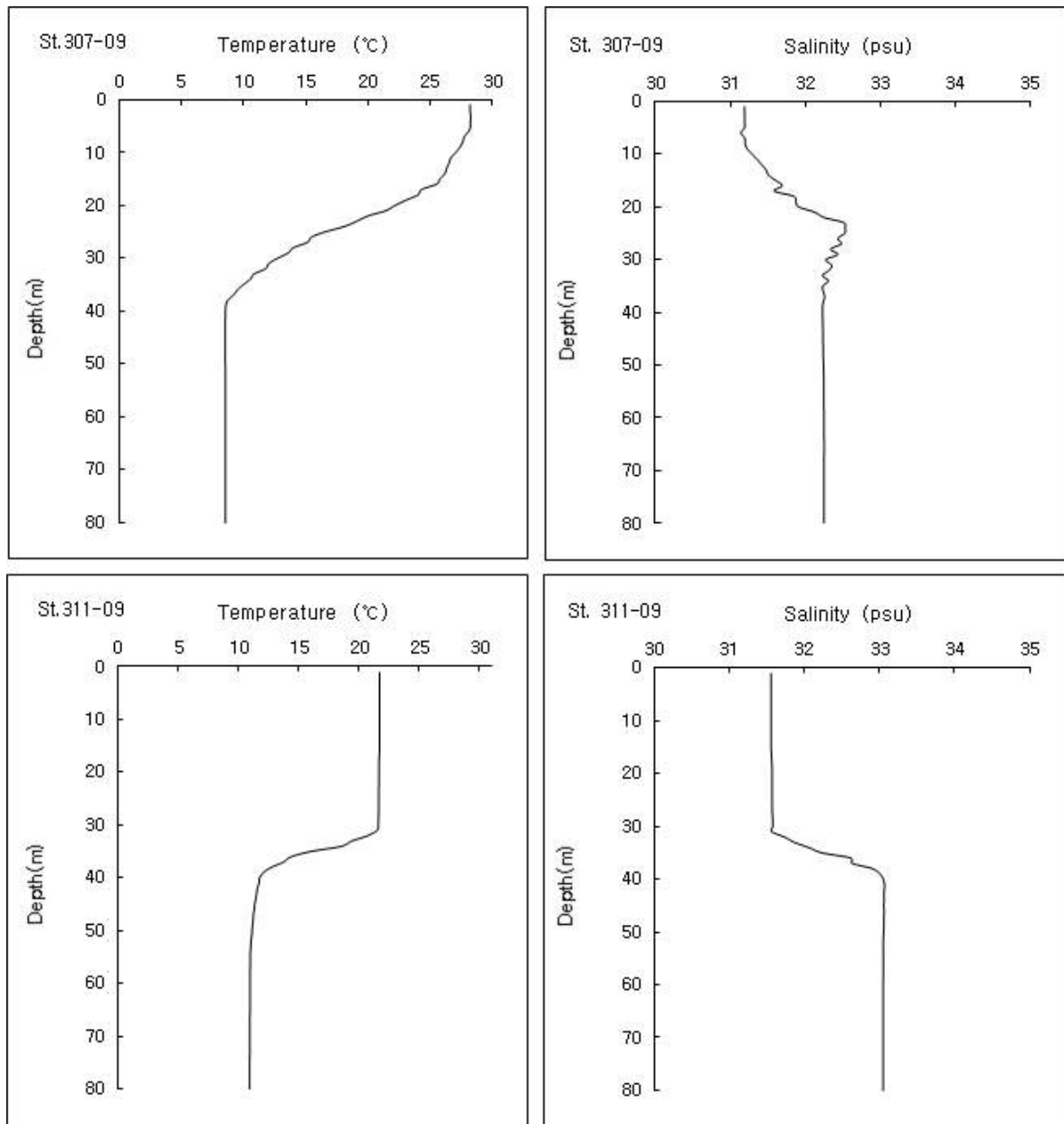


그림 7 서해 수온, 염분의 연직구조 (8월)

3.2 영양염과 부유물질

2022년 4월과 8월 해수 중 수온, 염분, 영양염, 부유물질 조사결과를 표 5~6에 나타내었다.

표 5 2022년 4월 수온, 염분, 영양염, 부유물질 조사결과

정점	깊이 (m)	수온 (℃)	염분 (psu)	아질산질소 (μ M)	질산질소 (μ M)	인산인 (μ M)	규산규소 (μ M)	부유물질 (mg/L)
107-07	0	0	10.79	34.25	0.21	5.04	0.3	6.35
106-02	0	11.04	34.26	0.07	1.89	0.15	3.21	5.2
106-05	0	12.54	34.33	0.12	2.20	0.17	5.41	2.2
	200	2.19	34.01	0.01	20.60	1.47	27.76	1.6
	500	0.68	34.03	0.00	25.07	1.84	44.16	1.8
	750	0.44	34.04	0.00	26.54	1.99	61.92	2.4
	1000	0.28	34.04	0.00	26.58	2.07	77.18	2.0
105-11	0	11.50	34.27	0.07	2.60	0.21	5.65	2.2
	200	3.74	34.05	0.03	14.29	0.95	15.14	2.4
	500	0.73	34.03	0.01	25.23	1.81	40.99	1.4
	750	0.51	34.04	0.00	26.88	1.99	58.62	2.2
	1000	0.36	34.04	0.00	27.21	2.02	68.05	3.2
	2000	0.24	34.04	0.01	27.14	2.08	90.79	5.2
104-04	0	12.47	34.58	0.23	4.37	0.33	5.47	3.2
104-11	0	11.75	34.27	0.11	3.14	0.23	5.86	3.4
103-11	0	13.87	34.41	0.20	1.19	0.18	5.38	4
102-04	0	15.61	34.22	0.25	2.65	0.26	6.64	5.4
209-08	0	15.87	33.96	0.35	2.30	0.24	6.60	1.8
208-01	0	15.03	34.12	0.26	2.72	0.30	6.87	3.2
207-03	0	16.36	34.23	0.086	0.653	0.317	3.783	8.4
206-01	0	13.27	33.65	0.124	0.533	0.062	2.403	4.8
205-05	0	18.01	34.57	0.075	0.589	0.282	3.305	11.6
204-02	0	12.90	33.32	0.217	2.437	0.474	5.121	8.2
203-03	0	14.67	33.88	0.112	1.240	0.199	3.635	11.0

표 5 2021년 4월 수온, 염분, 영양염, 부유물질 조사결과(계속)

정점	깊이 (m)	수온 (℃)	염분 (psu)	아질산질소 (μ M)	질산질소 (μ M)	인산인 (μ M)	규산규소 (μ M)	부유물질 (mg/L)
314-01	0	19.07	34.58	0.169	0.477	0.041	3.891	6.2
	20	18.55	34.55	0.232	0.302	0.073	4.188	
	50	17.19	34.52	0.507	0.909	0.084	5.207	
	70	14.05	34.55	0.161	6.516	0.420	10.194	
313-09	0	12.39	32.94	0.224	0.059	0.029	7.229	6.6
	20	11.89	33.21	0.303	4.416	0.282	10.139	
	50	11.52	33.66	0.307	6.446	0.436	10.833	
	140	11.53	33.68	0.295	6.452	0.423	10.741	
315-13	0	21.29	34.43	0.016	1.621	0.032	2.673	3.6
315-22	0	15.22	31.79	0.214	1.719	0.016	7.326	4.80
316-13	0	21.26	34.19	0.027	3.995	0.013	3.165	4.0
316-22	0	15.78	31.97	1.940	5.213	0.141	7.971	7.60
317-13	0	19.72	33.51	0.034	2.528	0.010	4.179	4.8
317-22	0	16.24	32.72	0.746	3.543	0.118	8.955	6.00
307-09	0	8.29	32.07	0.45	0.08	4.19	0.15	5.23
	20	7.21	32.15	0.66	0.16	9.25	0.41	8.50
	75	7.26	32.16	0.77	0.16	6.59	0.42	7.94
308-01	0	7.43	31.65	0.52	0.10	6.45	0.26	2.33
309-09	0	10.04	32.21	0.31	0.06	0.93	0.04	3.46
310-03	0	9.13	31.92	0.88	0.19	4.41	0.37	3.79
311-09	0	11.27	32.42	0.36	0.09	5.73	0.04	2.69
	20	9.43	32.44	0.35	0.14	7.14	0.15	8.14
	75	9.10	32.56	0.34	0.12	10.13	0.56	11.62
312-02	0	12.71	32.74	0.39	0.08	2.95	0.13	3.62

표 6 2021년 8월 수온, 염분, 영양염, 부유물질 조사결과

정점	깊이 (m)	수온 (℃)	염분 (psu)	아질산질소 (μ M)	질산질소 (μ M)	인산인 (μ M)	규산규소 (μ M)	부유물질 (mg/L)
107-07	0	26.21	32.74	0.01	2.87	0.00	2.31	5.4
106-02	0	24.85	31.64	0.00	3.31	0.00	0.82	2.2
106-05	0	26.43	33.28	0.00	2.92	0.00	2.76	2.2
	200	1.74	34.03	0.00	19.89	1.33	22.32	5.6
	500	0.71	34.05	0.00	25.83	1.81	39.54	2.8
	750	0.47	34.06	0.00	27.89	2.05	58.61	6.2
	1000	0.31	34.06	0.00	28.65	2.12	73.96	6.8
105-11	0	27.14	33.29	0.01	2.27	0.00	1.92	3.2
	200	2.74	34.06	0.00	21.59	1.43	24.90	2.6
	500	0.68	34.06	0.00	28.78	2.00	45.38	2.4
	750	0.46	34.06	0.00	28.15	2.06	59.32	2
	1000	0.33	34.06	0.00	28.18	2.08	66.98	0.8
	2000	0.23	34.06	0.00	28.72	2.16	85.78	1.2
104-04	0	24.51	32.93	0.01	1.19	0.00	3.78	4
104-11	0	25.84	32.47	0.00	1.40	0.00	3.52	3.8
103-11	0	26.95	32.87	0.00	2.31	0.09	3.38	3.8
102-04	0	25.55	32.65	0.00	1.37	0.10	1.12	2.6
209-08	0	26.32	31.53	0.00	0.54	0.02	7.57	2.6
208-01	0	22.04	32.88	0.20	3.70	0.27	5.71	6
207-03	0	28.15	30.36	0.156	6.042	0.044	8.836	8.6
206-01	0	25.55	31.02	0.034	0.562	0.051	5.669	2.0
205-05	0	29.11	32.72	0.046	1.096	0.124	2.286	17.6
204-02	0	21.93	32.17	0.008	0.321	0.274	2.492	2.8
203-03	0	28.56	30.02	0.008	1.324	0.150	3.003	9.4
313-09	0	29.87	32.31	0.042	0.612	0.104	1.215	2.2
	20	30.19	33.71	0.011	0.371	0.034	2.395	
	50	23.52	34.20	0.128	1.071	0.218	1.573	
	140	14.95	34.53	0.050	14.30	1.110	20.56	

표 6 2021년 8월 수온, 염분, 영양염, 부유물질 조사결과(계속)

정점	깊이 (m)	수온 (℃)	염분 (psu)	아질산질소 (μ M)	질산질소 (μ M)	인산인 (μ M)	규산규소 (μ M)	부유물질 (mg/L)
313-09	0	27.27	31.27	0.055	1.216	0.128	5.368	7.8
	20	18.43	31.99	0.040	1.394	0.126	8.743	
	50	13.44	33.17	0.028	9.351	1.086	9.727	
	70	13.52	33.22	0.043	10.548	1.111	11.310	
315-13	0	29.80	29.97	0.008	3.918	ND	2.957	5.0
315-22	0	27.41	30.39	0.059	9.543	0.003	1.473	12.00
316-13	0	30.19	31.28	0.020	4.994	ND	1.526	7.0
316-22	0	28.37	29.77	0.066	5.738	ND	5.661	8.20
317-13	0	30.27	32.09	0.038	3.944	ND	1.600	4.8
317-22	0	30.31	31.14	0.026	2.870	ND	2.639	6.80
307-09	0	28.21	31.18	0.62	0.09	2.29	0.02	1.93
	20	18.31	32.51	0.44	0.07	2.49	0.03	2.15
	75	8.57	32.25	0.56	0.10	8.70	0.53	10.81
308-01	0	26.63	31.18	1.27	0.13	1.84	0.28	4.76
309-09	0	28.08	31.62	0.80	0.10	2.10	0.04	2.63
310-03	0	8.74	32.48	0.40	0.08	12.10	0.84	15.21
311-09	0	26.34	31.69	0.75	0.17	3.31	0.09	6.92
	20	21.75	31.56	0.95	0.10	4.36	0.05	9.76
	75	21.69	31.57	0.97	0.10	2.48	0.05	8.37
312-02	0	10.89	33.05	0.62	0.09	13.95	1.01	17.55

3.3 해저퇴적물

우리나라 주변 해역 정점에서 채집한 해저퇴적물의 입도분석 결과를 Folk(1968)의 분류 방법에 따라 나타내었다(표 7).

분급도는 시료 속의 입자지름의 균일도를 판단하는데 평균입자 지름으로부터의 편차로 나타내며, 편차가 작을수록 분급이 좋다는 것을 의미한다. 분급도를 지배하는 요인으로는 유체의 난류 정도, 입자의 운반거리와 운반시간 등이 중요하다. 왜도(Skewness)는 자료가 어느 쪽으로 치우쳐있는가를, 첨도(Kurtosis)는 자료의 분포도 중심이 얼마나 뾰족한가를 판단하는 척도이다. 해저퇴적물의 입도 조성을 Folk(1968)의 삼각 좌표에 도시한 결과, 사질니(sandy mud), 점토질사(clay sand), 니(mud) 등의 퇴적상 등으로 구분되었다.

표 7 해저퇴적물 조사결과

해역	정점	자갈 (%)	모래 (%)	실트 (%)	점토 (%)	평균입도 (ϕ)	분급도	왜도	첨도	분류방법 (Folk, 1968)
동해	양양	11.39	56.75	11.60	20.26	2.948	4.204	0.663	0.621	역니질사[gmS]
	삼척	0	40.35	33.12	26.53	6.069	2.674	0.151	0.617	사니질[sM]
	죽변	0	64.37	13.52	22.11	4.482	3.416	0.497	0.702	니질사[mS]
	거진	0.76	47.40	28.68	23.16	5.584	3.018	0.155	0.726	역사니질[gsM]
	강릉	0	47.09	30.11	22.80	5.626	2.617	0.425	0.709	사니질[sM]
남해	203-01	14.59	70.24	4.26	10.91	1.58	3.10	-0.01	3.37	점토질사[cS]
	204-02	0.00	0.86	43.65	55.48	8.38	2.11	0.02	0.86	니질[M]
	205-01	0.00	0.10	30.07	69.83	8.97	1.75	-0.02	0.92	점토질[C]
	206-01	0.00	85.04	3.17	11.79	2.05	1.82	0.55	3.03	점토질사[cS]
	313-09	0.00	57.11	11.20	31.69	5.30	3.38	0.70	0.61	점토질사[cS]
서해	307-09	0.00	95.85	2.37	1.79	2.99	1.11	4.06	23.42	사질[S]
	308-01	0.00	80.44	12.16	7.40	3.69	1.96	1.89	6.06	니질사[mS]
	309-09	0.00	58.01	1.09	40.90	6.04	3.63	0.33	1.18	점토질사[cS]
	310-03	0.00	0.75	0.97	98.28	9.98	0.86	-4.25	30.25	점토질[C]
	311-09	0.00	72.39	1.10	26.51	4.79	3.39	1.00	2.09	점토질사[cS]

**부 록. 2. 후쿠시마 원전 사고 이전부터 운영된
22개 정점 표층 해수 방사능농도**

표 1 표층 해수의 ^{137}Cs 방사능농도 (22개 정점)

구분	조사정점	^{137}Cs 방사능농도 (mBq/kg)		
		2022년		2017년~2021년
		4월	8월	
동해	107-07	1.68 ± 0.17	1.48 ± 0.15	1.33~2.09
	106-02	1.44 ± 0.16	1.37 ± 0.14	1.07~1.88
	106-05	1.39 ± 0.14	1.50 ± 0.14	1.31~1.86
	105-11	1.83 ± 0.17	1.43 ± 0.14	1.43~2.02
	104-04	1.58 ± 0.15	1.24 ± 0.15	1.27~2.06
	103-11	1.52 ± 0.13	1.57 ± 0.15	1.40~1.76
	102-04	1.58 ± 0.15	1.55 ± 0.16	1.17~1.92
	209-08	1.30 ± 0.14	1.45 ± 0.17	1.12~1.99
	208-01	1.16 ± 0.14	1.44 ± 0.15	1.23~1.89
남해	207-03	1.21 ± 0.13	1.08 ± 0.13	1.25~2.04
	206-01	1.34 ± 0.14	1.45 ± 0.15	1.19~1.77
	205-05	1.24 ± 0.15	1.10 ± 0.13	1.14~1.93
	204-02	1.37 ± 0.16	1.46 ± 0.15	<1.02~1.80
	203-03	1.48 ± 0.15	1.17 ± 0.15	1.23~1.84
	314-01	1.20 ± 0.14	1.03 ± 0.12	0.892~1.81
	313-09	1.43 ± 0.14	1.18 ± 0.15	1.08~1.69
서해	312-02	1.19 ± 0.13	1.34 ± 0.14	1.02~2.43
	311-09	1.29 ± 0.15	1.32 ± 0.14	<1.14~1.53
	310-03	1.02 ± 0.13	1.40 ± 0.15	1.13~1.62
	309-09	1.30 ± 0.14	1.36 ± 0.14	1.05~1.51
	308-01	0.909 ± 0.127	1.37 ± 0.15	0.908~1.36
	307-09	1.20 ± 0.14	1.05 ± 0.13	1.07~1.63
평균 (범위)		1.34 ± 0.19 (0.909~1.83)		1.48 ± 0.25 (0.892~2.43)

표 2 표층 해수의 ^3H 방사능농도 (22개 정점)

구분	조사정점	^3H 방사능농도 (Bq/L)	
		2022년	2017년~2021년
동해	107-07	<0.129	<0.0739~0.199
	106-02	0.142 ± 0.042	0.0825~0.187
	106-05	0.241 ± 0.045	<0.0746~0.238
	105-11	0.145 ± 0.043	<0.0754~<0.219
	104-04	0.164 ± 0.043	<0.0733~0.237
	103-11	0.172 ± 0.043	<0.0751~0.193
	102-04	0.153 ± 0.043	<0.0739~0.234
	209-08	0.158 ± 0.042	<0.0743~<0.193
	208-01	0.191 ± 0.044	<0.134~0.197
남해	207-03	0.226 ± 0.050	<0.113
	206-01	<0.145	<0.113
	205-05	0.205 ± 0.053	<0.111
	204-02	0.213 ± 0.051	<0.114~0.221
	203-03	0.187 ± 0.051	<0.113
	314-01	0.205 ± 0.050	<0.113~<0.191
	313-09	0.297 ± 0.054	<0.115~<0.199
서해	312-02	0.144 ± 0.040	0.0695~0.293
	311-09	0.155 ± 0.042	<0.0608~0.208
	310-03	0.213 ± 0.041	0.0716~0.254
	309-09	0.248 ± 0.042	<0.0585~0.212
	308-01	0.190 ± 0.041	<0.0577~0.261
	307-09	<0.110	0.0890~0.253
평균 (범위)		0.183 ± 0.045 (<0.110~0.297)	0.152 ± 0.048 (<0.0577~0.293)

< : 최소검출가능농도(MDA) 미만의 값

간 행 물 정 보 양 식

보고서번호		제목/부제			
KINS/ER-092, Vol 18		해양환경방사능조사			
연구책임자 / 부서명		김대지 / 환경방사능평가실			
연구자 / 부서명		김대지 외 22인 / 환경방사능평가실 국립수산과학원 본원 및 동·서·남해연구소			
발행기관	한국원자력안전기술원	발행지	대전	발행일	2022.12
페이지	82p.	도 표	유 (O) 무 ()	크 기	A4
참고사항					
공개여부	공개(O) 비공개()		보고서 종류		
연구위탁기관			계 약 번 호		
초록 (200단어 내외)	<p>우리나라 주변 해역에서 해수, 해양생물, 해저퇴적물 시료 중 방사성핵종 (^{137}Cs, ^3H, ^{90}Sr, $^{239+240}\text{Pu}$) 농도와 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 동위원소비를 조사 하였다. 우리나라 주변 해역의 정해진 정점에서 조사주기에 따라 해수, 해양생물, 해저퇴적물 시료를 확보하였으며, 방사능농도 평가를 위한 기초자료 확보를 위해 해수 수온과 염분의 연직구조, 해저퇴적물 및 해양생물의 특성 조사를 수행하였다. 해수, 어류, 해조류, 패류, 해저퇴적물 중 방사능농도는 과거 조사된 결과와 비슷한 수준이었다.</p> <p>일본 후쿠시마 원전 사고 이후 해수 및 어류의 방사능감시를 강화하여 동중국해 등 6개 정점에서 표층 해수를 분석한 결과, ^{134}Cs는 전체 해수 시료에서 최소검출가능농도 미만이었으며, ^{137}Cs은 후쿠시마 원전 사고 이전 농도범위 이내였다. 또한, 우리나라 동·서·남해 연안에 해수방사능감시망 21개소를 설치하여 운영 중에 있으며, 2022년도 운영결과 특이사항은 없었다.</p>				
주제어 키워드 (10단어 내외)	방사성핵종, 해양방사능조사, 해양환경조사, 해수방사능감시망 해수, 어류, 패류, 해조류, 해저퇴적물				

KINS

KOREA
INSTITUTE OF
NUCLEAR
SAFETY



한국원자력안전기술원
KOREA INSTITUTE OF NUCLEAR SAFETY

우)305-338 대전광역시 유성구 과학로 62
www.kins.re.kr