

원전주변 환경시료의 766 keV 감마선에너지 피크에 대한 해석

김완*, 이해영*, 양희선†, 박해수†, 김봉국†, 박환배†, 김홍주†, 이상훈†

*경북대학교 방사선과학연구소, †한국수력원자력 울진원자력본부, ‡경북대학교 물리및에너지학부

2009년 11월 9일 접수 / 2009년 12월 15일 1차수정 / 2009년 12월 18일 채택

울진원자력발전소 주변의 환경시료 해조류에서 검출된 766 keV 감마선에너지 피크를 여러 연구기관에서 ⁹⁵Nb 핵종에서 방출된 것으로 해석하고 있다. 그러나 원전의 액체폐기물 처리설비의 장치개선으로 ⁹⁵Nb 배출량이 현격히 감소하였음에도 불구하고 지속적으로 환경시료에서 ⁹⁵Nb 핵종이 검출되고 있는 현상에 대해서 보다 더 정밀한 기술적인 검토가 필요하였다.

이에 측정 스펙트럼을 정밀 분석한 결과, 766 keV 감마선에너지 피크와 ²³⁴Th-^{234m}Pa 붕괴 계열의 다른 감마선에너지 피크(63, 92 및 1001 keV)들이 동시에 같이 검출되고 있으며, 이들 4종의 감마선에너지 피크 계수율의 시간에 대한 변화로부터 계산된 반감기가 ²³⁴Th-^{234m}Pa 붕괴 계열의 방사평형시 방사능반감기 24.1 일과 매우 비슷한 값을 나타내었다. 또한 766 keV 와 1001 keV 피크의 상대적인 계수율의 비가 ^{234m}Pa의 감마선방출율의 상대적인 비 0.35와 매우 비슷한 값을 나타내었다. 따라서 이러한 점에서 지금까지 ⁹⁵Nb 핵종에서 방출된 것으로 판단했던 766 keV 감마선에너지 피크는 자연방사성핵종인 ^{234m}Pa 핵종에서 방출된 것으로 판단된다.

중심어: 환경방사능, HPGe 계측기, 감마선분광분석, ⁹⁵Nb, ²³⁴Th, ^{234m}Pa

1. 서론

원자력시설 주변 환경에 대한 방사능 감시는 환경중 인공 및 자연 방사성 핵종의 준위 파악 및 그 경향 분석, 시설로부터 환경으로 배출될 수 있는 인공 방사성물질의 축적경향 파악, 그리고 주민선량의 평가를 위하여 매우 중요하다.

울진원자력발전소 주변 환경방사능 조사연구에서 2007년 10월 및 2008년 10월 장호지역(원전으로부터 NNW 22.5 km 지점) 해조류 시료(일반 명칭 잘피)에 대한 HPGe를 이용한 감마선분광분석 결과, 인공 방사성핵종인 ⁹⁵Nb가 미량 검출되었으며, 울진원전 배수구(2007년 4월/10월, 2008년 10월), 취수구(2008년 4월/10월) 해조류에서도 ⁹⁵Nb가 검출된 것으로 보고되었다. 경북대에서 수행한 원전주변 조사연구의 검출 범위는 0.0271~0.270 Bq/kg-fresh 이었다. 울진원전 자체조사(2008년 1월 - 2009년 6월)에서 장호, 망양 등의 해조류에서 ⁹⁵Nb가 검출된 것으로 알려졌다. 울진원전 민간환경 감시기구의 2007~2008 연도 조사결과, 취/배수구 해조류 시료에서의 검출범위는 0.0568~0.348 Bq/kg-fresh, 장호지역의 검출범위는 0.0121~0.236 Bq/kg-fresh으로 보고되었다. 보고된 ⁹⁵Nb의 방사능 농도는 표 1에 제시되었으며, 이들 분석들은 모두 766 keV 근처에서 확인된 감마선 피크를

⁹⁵Nb피크로 해석한 결과들이다[1-4].

2008년 7월 울진원전의 액체폐기물 처리설비의 장치개선으로 표 2와 같이 ⁹⁵Nb와 그 모핵종인 ⁹⁵Zr의 배출량이 현격히 감소하였다[5]. ⁹⁵Nb의 반감기(35.0 일)를 고려할 때 배출량 감소에 따른 환경중 방사능농도의 급격한 감소 현상이나 원전의 거리에 따른 희석에 의한 방사능농도의 감소 현상을 예상할 수 있으나, 환경시료 중 보고되는 ⁹⁵Nb의 경향은 이와는 상이하여 정밀 분석이 필요하였다.

2. 재료 및 방법

피크가 766 keV 감마선에너지와 근접한 영역에 있는 핵종들은 다수 있지만, 본 연구에서는 원전으로부터 발생 가능한 방사성 핵종인 ⁹⁵Nb, 그리고 이 핵종과 피크 계수에 대한 반감기가 매우 비슷한 값을 가질 수 있는 자연방사성핵종이면서 준안정상태인 ^{234m}Pa 핵종에 대해서 중점적으로 분석하였다. ⁹⁵Nb는 반감기가 35.0 일이며, 그 모핵종 ⁹⁵Zr는 핵분열 또는 핵연료피복관의 중성자 흡수로 원자로 내에서 생성될 수 있으며 ⁹⁵Zr의 반감기는 65.5 일이다. ^{234m}Pa의 반감기는 70.2 초이며, 그 모핵종 ²³⁴Th의 반감기는 24.1 일, 그 최선행핵종 ²³⁸U의 반감기는 45 억 년이며, 이들은 아래에 제시된 우라늄-238 붕괴 계열에 속한 자연 방사성핵종이다.

책임저자 : 이상훈, lee@knu.ac.kr, 경북대학교 물리및에너지학부
대구시 북구 산격동 1370

Table 1. ⁹⁵Nb Specific Activity of Macroalgae Samples Taken near Ulchin NPP Site.

Location	Sampling Date(Yr.Mo)	⁹⁵ Nb Specific Activity (Bq/kg-fresh)	Research Institute and Reference
Near NPP Discharge	07.04	0.149±0.025	KNU ¹⁾ [1]
	07.04	0.103±0.028	UNPPPSOER ²⁾ [3]
	07.10	0.117±0.016	KNU [1]
	07.10	0.241±0.013	UNPPPSOER [3]
	08.01	0.0603±0.0177	UNPPPSOER [4]
	08.04	0.0709±0.0177	UNPPPSOER [4]
	08.07	0.348±0.015	UNPPPSOER [4]
	08.10	0.148±0.016	KNU [2]
Near NPP Seawater Intake	08.10	0.0917±0.0120	UNPPPSOER [4]
	07.04	0.144±0.018	UNPPPSOER [3]
	08.04	0.0527±0.0078	KNU [2]
	08.04	0.0954±0.0162	UNPPPSOER [4]
	08.07	0.143±0.014	UNPPPSOER [4]
	08.10	0.0696±0.0121	KNU [2]
Jang-Ho (22.5 km NNW from NPP)	08.10	0.0568±0.0074	UNPPPSOER [4]
	07.10	0.270±0.058	KNU [1]
	07.10	0.236±0.025	UNPPPSOER [3]
	08.04	0.0858±0.0204	UNPPPSOER [4]
	08.07	0.140±0.024	UNPPPSOER [4]
	08.10	0.0271±0.0049	KNU [2]
	08.11	0.0121±0.0017	UNPPPSOER [4]

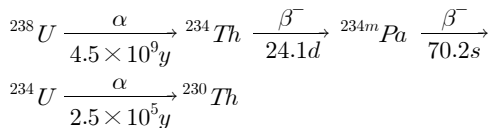
1) KNU: Kyungpook National University

2) UNPPPSOER: Ulchin Nuclear Power Plant Private Supervisory Organization for Environment Radiation

Table 2. ⁹⁵Nb, ⁹⁵Zr Annual Discharge from Ulchin NPP Site (in MBq).

Year Nuclide	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09 (1-st half)
⁹⁵ Nb	No Data ¹⁾	0.0358	0.0005	3.11	26.5	15.5	10.3	0.689	No Data ¹⁾
⁹⁵ Zr	No Data ¹⁾	0.0377	No Data ¹⁾	No Data ¹⁾	8.49	2.45	1.3	0.073	No Data ¹⁾

1) 'No data' means that all of the discharge activities measured were below Lower Limit of Detection (LLD).



울진원전의 액체폐기물 처리설비의 장치개선으로 표 2와 같이 ⁹⁵Nb와 그 모핵종인 ⁹⁵Zr의 배출량이 현격히 감소하였음에도 766 keV 관련 핵종(측정보고된 ⁹⁵Nb) 방사능농도의 현격한 감소 경향이 없는 점, 그리고 원전과의 거리에 따른 희석효과가 잘 확인되지 않는 점으로 미루어 볼 때 해양시료의 감마선 분광분석에 나타나는 766 keV 감마선에너지 피크는 ⁹⁵Nb 핵종에서 방출된 것이 아닐 가

능성이 크다.

우라늄-238 붕괴 계열에 속한 ^{234m}Pa의 반감기는 70.2 초로 매우 짧지만, 오랜 시간 물질의 출입이 없었던 시료에서는 붕괴 계열의 모든 핵종의 방사능농도가 같은 값으로 일정해지는 영구평형상태에 이르며, 이 경우 ^{234m}Pa의 방사능은 ²³⁸U과같이 45 억년을 주기로 반감하는 특성을 보이게 된다. 그러나 해조류의 토륨 농축계수가 우라늄 농축계수보다 상당히 크다면, 해조류 시료에서는 ²³⁸U-²³⁴Th의 방사평형은 깨어지며, 시료 채취후 ^{234m}Pa반감기의 7~8배가 경과한 시점(약 500 초 후)에서 ²³⁴Th-^{234m}Pa의 방사평형이 형성된다. 이때 ²³⁴Th-^{234m}Pa 두 핵종의 방사능농도는 같아지며, ^{234m}Pa의 방사능은 ²³⁴Th과 같이

24.1 일을 주기로 반감하는 특성을 보이게 되어, 마치 반감기가 24.1 일인 것처럼 관측될 것이다.

해조류, 해저토 등 환경 시료에서 토륨의 선택적 침적/흡수에 대한 여러 가지 문헌보고가 있다. IAEA 보고서 (IAEA-TECDOC 211)에서 해조류(Macroalgae)의 토륨 농축계수(Concentration Factor, L/kg-wet)는 1×10^3 으로 우라늄 농축계수 1×10^1 보다 약 100배 크다[6]. 일본의 미야기현 환경방사능 조사결과 해양생물에서 ^{234}Th 의 방사능 농도가 ^{238}U 보다 훨씬 높은 2870 Bq/kg-dry에 이르는 경우를 보고한 바 있다[7]. J. E. Martine은 그의 저서에서 해저토에서 토륨의 침적이 우라늄보다 매우 큰 현상을 설명하고 있다[8].

766 keV 감마선에너지 영역에 피크를 가지는 핵종들 가운데 특히 유의하여 감마선 스펙트럼을 분석해야 하는 핵종은 ^{234}Th - $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 붕괴 계열과 ^{95}Nb , 그리고 ^{214}Bi (768 keV 피크)이다. 표 3은 이들 핵종의 주요 감마선 에너지를 정리한 것이다.

본 연구에서는 하나의 특정 환경시료를 약 1개월 간 6회에 걸쳐 감마선 스펙트럼을 측정하여 766 keV 감마선 에너지 피크의 계수에 대한 반감기를 실험적으로 구하고, 이를 ^{234}Th 의 반감기와 비교하였다. ^{234}Th - $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 붕괴 계열의 감마선에는 63, 92 및 1001 keV 피크들이 포함되어 있으므로 먼저 이러한 피크들의 존재 여부를 확인하고 이들 피크의 계수에 대한 반감기도 ^{234}Th 의 반감기와 비교하였다. 또한, 측정된 766 keV 와 1001 keV 피크의 계수에 대한 상대적인 비가 $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 의 감마선방출율의 알려진 상대적인 비 0.35와 유사한지 여부를 확인하는 방법을 통해서 766 keV 감마선에너지 피크의 생성기원에 대해서 판단하였다.

Table 3. Major Gamma Peaks from ^{234}Th , $^{234\text{m}}\text{Pa}$, ^{95}Nb and ^{214}Bi [9].

Nuclide	Gamma Energy (keV)	Yield	Half Life
^{234}Th	63.29	0.048	24.1d
	92.38	0.028	
	92.80	0.028	
$^{234\text{m}}\text{Pa}$	766.36	0.00294	70.2s
	1001.03	0.00837	
	^{95}Nb	17.48	
765.81	0.9981		
^{214}Bi	768.36	0.0494	19.9m
	934.06	0.0303	
	1120.29	0.151	
	1238.11	0.0579	
	1377.67	0.04	
	1764.49	0.154	
	2204.21	0.0508	

3. 결과 및 논의

3.1 피크 계수율의 시간경과에 따른 고찰

그림 1은 2007년 10월 장호 해조류 시료의 감마선 스펙트럼으로서 주요 피크들의 감마선에너지 및 핵종을 해당 피크에 표시한 것이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 정밀분석의 대상인 766 keV 피크와 함께 ^{234}Th - $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 붕괴 계열의 다른 감마선 피크들(63, 92 및 1001 keV 피크)이 한 스펙트럼상에 같이 나타남을 확인할 수 있다. 그림 2는 이 피크들의 시간경과에 따른 계수율의 변화를 나타낸 것이다. 이로부터 각 피크의 계수에 대한 반감기를 실험적으로 구한 결과 766 keV 피크의 경우 25.9 ± 14.9 일, $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 1001 keV 피크의 경우 27.8 ± 6.6 일, ^{234}Th 63 keV 피크의 경우 30.5 ± 4.2 일, ^{234}Th 92 keV 피크의 경우 28.8 ± 2.2 일이었다.

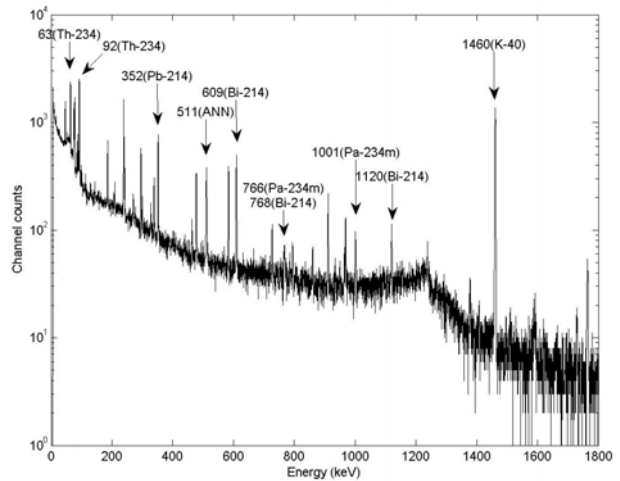
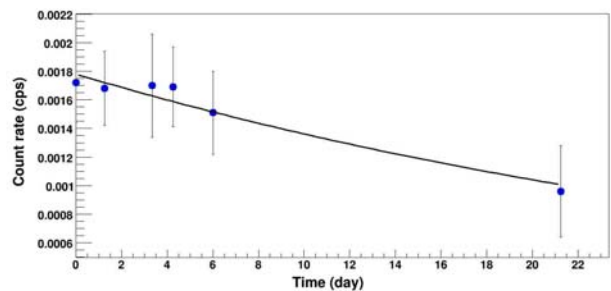
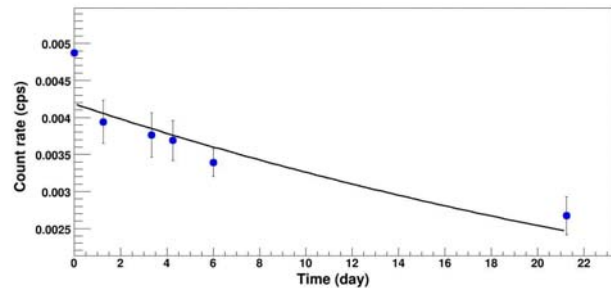


Fig. 1. Gamma spectrum of macroalgae sample from Jang-Ho.



(a) 766 keV Peak (Calculated Half Life 25.9 ± 14.9 d)



(b) $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 1001 keV Peak (Calculated Half Life 27.8 ± 6.6 d)

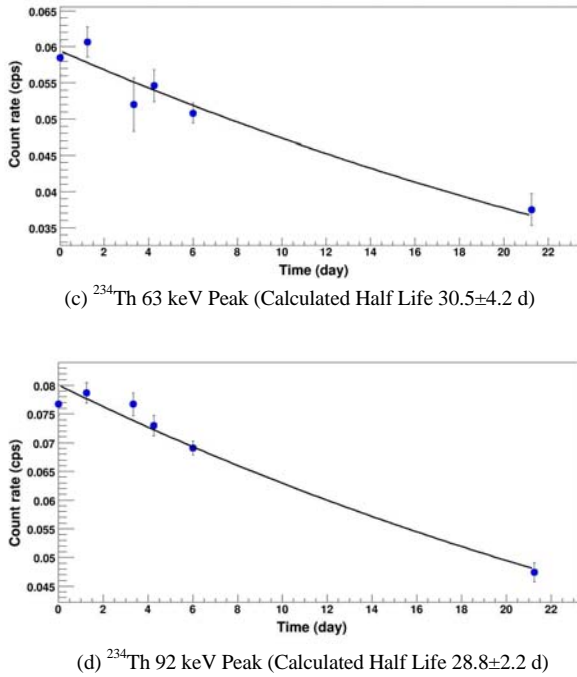


Fig. 2. Peak count rate changes as time elapses (taken from gamma spectra of macroalgae sample from Jang-Ho).

측정한 스펙트럼으로부터 각 피크 계수율의 시간경과에 따른 감소를 계산한 결과, 766 keV와 1001 keV 피크의 반감기들은 각각 25.9일, 27.8일로서 서로 비슷한 값을 나타내었다. 이 값들은 ^{95}Nb 핵종의 반감기 35.0 일과는 다소 차이를 보이고 있는 반면에, ^{234}Th 핵종의 반감기 24.1 일과는 유사한 값을 보여주고 있다. 이 결과로부터 766 keV의 감마선에너지 피크는 인공방사성핵종인 ^{95}Nb 에서 방출된 것이 아니라 자연방사성핵종인 $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 핵종에서 방출된 것으로 판단된다. 그 이유는 $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 은 반감기가 70.2 초로 매우 짧은 반면에 그 모핵종인 ^{234}Th 는 반감기가 24.1 일로서 상대적으로 매우 길기 때문에 영구적 방사평형으로서 계수율에 대한 실질 반감기는 서로 같아진다고 할 수 있다.

또한 ^{234}Th 피크들인 63 keV와 92 keV 감마선에너지

피크의 계수율에 대한 반감기는 서로 비슷한 값을 나타내었으며, 이 값들은 2.1σ 내에서 ^{234}Th 의 반감기 24.1 일과 일치하였다. 계산된 반감기들의 오차가 큰 것은 시간에 따른 데이터의 수가 적음보다는 각 측정에서 피크 계수율 자체가 매우 작은 값에 기인한다. 766 keV 피크의 경우 피크 계수율의 평균오차는 약 20%였다.

3.2 피크들의 감마선 방출을 상대비(ratio)에 대한 고찰

표 3에서 보는 바와 같이 $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 1001 keV의 감마선 방출율은 0.00837이고 766 keV의 감마선 방출율은 0.00294로서 이들 두 에너지에 대한 감마선방출율의 상대적인 비는 0.35이다. 2007년 상반기부터 2008년 하반기까지 경북대학교 방사선과학연구소가 울진원전 취/배수구와 장호에서 채취한 7개의 해조류 시료를 측정된 감마선 스펙트럼으로부터 구한 1001 keV 피크와 766 keV 피크의 계수에 대한 비는 아래 표 4에서 보는 바와 같이 0.28~0.47 범위의 값을 나타내었다.

즉, 이 두 에너지의 감마선 방출율의 상대적인 비 0.35와 계수에 대한 비가 1σ 내에서 잘 일치하였으며, 2007년 10월 장호시료의 경우도 1.4σ 내에서 일치하였다.

이상의 연구결과에 의하면 766 keV 감마선에너지 피크는 우라늄-238 붕괴계열인 ^{234}Th - $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 핵종에서 방출된 것으로 판단된다. 따라서 감마선 분석 프로그램의 핵종 라이브러리에 ^{234}Th - $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 붕괴 계열을 포함시키고 앞서 설명한 7개 해조류시료에 대해서 방사능농도를 재분석한 결과 표4와 같다. 재분석시, ^{95}Nb 의 방사능농도는 766 keV 감마선에너지 피크의 순계수율에서 $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 의 계수율 기여분을 제거한 후 계산하였다. $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 의 계수율 기여분은 $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 1001keV 감마선에너지 피크의 순계수율로부터 766 keV와 1001 keV에 대한 $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 의 감마선방출율 비와 계측기효율 비를 고려하여 계산하였다. 표4에서 보는바와 같이 ^{95}Nb 의 방사능농도는 모두 최소검출가능농도 이하였으며, 자연방사성핵종 ^{234}Th 과 $^{234\text{m}}\text{Pa}$ 의 방사능농도는 각각 9.02~134 Bq/kg-fresh, 8.56~124 Bq/kg-fresh 범위였다.

Table 4. $^{234\text{m}}\text{Pa}$ Gamma Yield Ratios from Measured Spectra and Re-analysis Result.

Location	Sampling Date (Yr.Mo)	$^{234\text{m}}\text{Pa}$ Gamma Yield Ratio ¹⁾	Previous Analysis ²⁾	Re-Analysis ³⁾		
			Specific Activity (Bq/kg-fresh) ^{95}Nb	^{95}Nb	^{234}Th	$^{234\text{m}}\text{Pa}$
Near NPP Discharge	07.04	0.47±0.10	0.149±0.025	< 0.0585	46.1±1.7	43.9±3.4
	07.10	0.35±0.04	0.117±0.016	< 0.0510	51.4±4.7	58.6±3.5
	08.10	0.38±0.05	0.148±0.016	< 0.0467	47.7±1.3	46.3±2.2
Near NPP Seawater Intake	08.04	0.33±0.06	0.0527±0.0078	< 0.0393	24.5±1.1	21.0±2.3
	08.10	0.46±0.10	0.0696±0.0121	< 0.0340	25.2±1.2	24.0±2.8
Jang-Ho (22.5 km NNW from NPP)	07.10	0.28±0.05	0.270±0.058	< 0.106	134±6	124±20
	08.10	0.38±0.08	0.0271±0.0049	< 0.0142	9.02±0.37	8.56±1.05

1) The ratio of 766 keV net count to 1001 keV net count with detection efficiency correction.
 2) In previous analysis 766 keV peaks are considered to come from ^{95}Nb (^{234}Th - $^{234\text{m}}\text{Pa}$ not included in the nuclide library).
 3) In re-analysis ^{234}Th - $^{234\text{m}}\text{Pa}$ are included in the nuclide library.

4. 결론

울진원자력발전소 주변의 환경시료 해조류에서 검출된 766 keV 감마선에너지 피크를 여러 연구기관에서 ⁹⁵Nb 핵종에서 방출된 것으로 해석하고 있었으나 본 연구에 의하면 자연방사성핵종인 ^{234m}Pa 핵종으로부터 방출된 감마선에너지인 것으로 판단된다.

그 이유는 766 keV 감마선에너지 피크와 함께 ²³⁴Th-^{234m}Pa 핵종의 다른 감마선에너지(63, 92 및 1001 keV) 피크들이 동시에 한 스펙트럼상에 나타나고 있고, 이들 피크의 계수율에 대한 반감기가 각각 25.9 일 (766 keV), 30.5 일 (63 keV), 28.8 일 (92 keV), 27.8 일 (1001 keV)로서 평형상태 ²³⁴Th-^{234m}Pa 핵종계열의 방사능반감기 24.1 일과 거의 비슷한 값을 나타내기 때문이다. 또한 ^{234m}Pa 핵종의 주요 감마선에너지인 1001 keV 와 766 keV 피크의 계수의 실측비가 두 감마선에너지의 감마선 방출율의 알려진 상대적인 비 0.35와 매우 유사한 값을 가진다는 점이 그 이유이다. 따라서 이들 환경시료의 766 keV 감마선에너지 피크는 자연 방사성핵종인 ^{234m}Pa에서 방출된 것으로 판단된다.

감마선 분석 프로그램의 핵종 라이브러리에 ²³⁴Th-^{234m}Pa 핵종을 포함시키고 2007년 상반기부터 2008년 하반기까지 경북대학교 방사선과학연구소가 채취하여 스펙트럼을 분석한 해조류 시료에 대해 방사능농도를 재분석한 결과, ⁹⁵Nb의 방사능농도는 모두 최소검출가능농도 이하였다. 향후 감마선 분광분석에서 이러한 감마선의 에너지가 중첩되는 핵종의 경우에 대해서 피크의 분리 및 피크 피팅에 대한 상세한 절차확립이 필요하며, 또한 중첩

가능성이 있는 핵종들의 라이브러리 추가 여부에 대한 검토가 필요한 것으로 사료된다. 또한 지각에 존재하는 자연 방사성핵종의 해수로의 이동 및 해양 생태계 특정 생물(예, 특정 해조류)의 특정 핵종(예, 토륨) 선택적 흡수 등은 피폭선량면에서의 중요도에 따라 장기적으로 정밀 연구할 필요가 있다.

참고문헌

1. 한국수력원자력. 원자력발전소 주변 환경방사능 조사 보고서, 2007.
2. 한국수력원자력. 원자력발전소 주변 환경방사능 조사 보고서, 2008.
3. 울진원전 민간환경 감시기구. 2007연보, 2007.
4. 울진원전 민간환경 감시기구. 2008연보, 2008.
5. 한국수력원자력. 원자력발전소 주변 환경방사능 조사 보고서, 2001-2009.
6. IAEA. The Radiological Basis of the IAEA Revised Definition and Recommendations Concerning High-level Radioactive Waste Unsuitable for Dumping at Sea, IAEA-TECDOC-211, IAEA, Vienna, 1978.
7. Ishikawa Y, Kayaga H, Saga K. Biomagnification of ⁷Be, ²³⁴Th, and ²²⁸Ra in marine organisms near the northern Pacific coast of Japan. J. Environ. Radioact. 2004;76:103-112.
8. Martine JE. Physics for Radiation Protection. Ch. 6, John Wiley and Sons 2000.
9. Brookhaven National Laboratory. Isotope Library MASTER.lib Listing, PCNUDAT DECAY RADIATIONS, NNDC (1997).

Analysis of 766 keV Gamma Peak from NPP Environmental Samples

Wan Kim*, Hae-young Lee*, He Sun Yang, Hae Soo Park, Bong Kuk Kim, Hwan Bae Park †, Hong Joo Kim ‡, Sang Hoon Lee ‡
 *Radiation Science Research Institute, Kyungpook National University, † Korea Hydro & Nuclear Power CO. LTD Ulchin Nuclear Power Site,
 ‡ Department of Physics and Energy Sciences, Kyungpook National University

Abstract - Gamma spectral results for macroalgae samples taken from the environment of Ulchin nuclear power plants in Korea (east coast), showed 766 keV peaks, which were identified as ⁹⁵Nb by several research institutes. After the enhancement of liquid radioactive waste disposal facility at Ulchin NPP site, the ⁹⁵Nb amount in the liquid radioactive waste outflow has drastically reduced, but the expected reduction in ⁹⁵Nb specific activity from environmental samples did not actually show up on gamma spectroscopy. Detailed re-investigation revealed that along with 766 keV peak, other peaks (63, 92 and 1001 keV) from ²³⁴Th-^{234m}Pa decay series were also detected on spectroscopy, and that the measured half lives of the four peaks were very close to known half life of ²³⁴Th-^{234m}Pa decay series, which is 24.1 day. The measured gamma yield ratios of 766 keV peak to 1001 peak were very close to known ratio 0.35 for ^{234m}Pa.

It is concluded that 766 keV peaks on gamma spectroscopy of Ulchin NPP environmental samples were mainly from ^{234m}Pa, which is one of naturally occurring radionuclides.

Keywords : Environmental Radioactivity, HPGe Detector, Gamma Spectroscopy, ⁹⁵Nb, ²³⁴Th, ^{234m}Pa