

CsI(Tl)섬광체를 리용한 몇가지 바다생물의 ^{210}Po 방사능측정

박철순, 리주연, 박영일

위대한 수령 김일성동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《원자력을 생산에 받아들이기 위한 연구사업을 전망성있게 진행하며 방사성동위원소와 방사선을 공업과 농촌경리를 비롯한 여러 부문들에 널리 적용하여야 할것입니다.》(《김일성전집》 제27권 391페이지)

현재 식료품의 방사선검사에 다양한 스펙트르분석기들이 널리 리용되고있다.[1, 2] 초우라니움핵종들에는 허용한계가 110Bq/y로서 작고 매우 위험한 방사성핵종인 ^{210}Po 과 같은 α 방사성핵종들이 적지 않다. α 방사성핵종들은 같은 량의 방사능이 섭취될 때 ^{90}Sr 이나 ^{137}Cs 보다 수십~수백배나 더 큰 선량을 줄수 있으므로 식료품의 방사선검사에서 α 선 검사는 매우 중요하다.

^{210}Po 은 여러가지 암을 발생시키는 ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{239}Pu , ^{241}Am 에 비해 각각 4.3, 5.2, 4.8, 6배나 더 유독하고 방사성독성과 함께 몸안흡수율과 생물학적축적결수가 크므로 발암성물질 1부류로 규정하였다.[1] 식료품중 ^{210}Po 의 함량은 수산물에서 가장 높으며 인체방사선 내부조임의 절반이상은 수산물섭취로 인한 ^{210}Po 의 α 선에 의한것이다.

론문에서는 CsI(Tl)섬광검출기를 리용한 α 스펙트르분석기를 제작하고 몇가지 바다생물의 ^{210}Po 방사능측정에 대하여 고찰하였다.

1. α 스펙트르분석기의 구성 및 특성

1) α 스펙트르분석기의 구성

α 스펙트르분석기는 식료품시료에서 나오는 α 선스펙트르를 측정하여 식료품의 α 비방사능과 핵종을 결정하기 위한 장치로서 불수강관(315mm×300mm)위에 조립된 α 선수감부와 이 판의 아래에 놓인 시료접시설치틀, 전자회로, 컴퓨터로 구성되어있다.(그림 1)

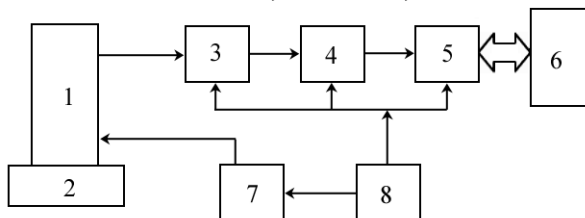


그림 1. α 스펙트르분석기의 구성도

1- α 선수감부, 2-시료접시설치틀, 3-증폭 및 성형단, 4-A/D변환단,
5-컴퓨터결합단, 6-컴퓨터, 7-고압전원단, 8-저압전원단

α 선수감부는 직경 95mm의 불수강원통안에 조립된 CsI(Tl)섬광체와 R594형빛증배관, 예비증폭기로 이루어졌다. 시료접시설치틀은 접시이송판, 안내대, 밀판, 말단개폐기, 접시올림 및 내림틀, 빛차단가라지기로 되어있다.

저압안정전원단(+12V, $\pm 5\text{V}$)과 고압안정전원단(0~ -1 000V)에서 장치에 요구되는 전

원을 보장한다.

두께가 1.5mm, 직경이 70mm인 광학유리원판의 한쪽 면에 CsI(Tl)섬광물질을 약 10mg/cm^2 로 진공증착하여 CsI(Tl)섬광체를 제작하였다.

α 선을 수감하는 감도층의 직경은 56mm, 두께는 10mg/cm^2 이다. CsI(Tl)섬광물질에서 에너지가 8MeV이하인 α 입자들의 최대주행거리는 $R_{\alpha\text{최대}} \leq 7\text{mg/cm}^2$ 이므로 10mg/cm^2 정도이면 완전히 제동되어 α 입자운동에너기의 전부가 섬광물질에 전달되게 된다.

α 입자는 CsI(Tl)섬광체에서 β 선이나 γ 선에 의하여 생기는 전자에 비하여 이온화능이 크기때문에 에너기의 전부를 섬광체에 전달하고 정지되므로 β 선이나 γ 선에 의하여 생기는 폰의 스펙트르는 통로수가 증가함에 따라 급속히 낮아진다.

이 분석기에서 β 선과 γ 선, 우주선에 의한 에너지스펙트르는 100통로아래로 제한되어있고 100통로이상에서는 α 선만 기록된다.

수감부와 측정시료가 담겨진 접시웃면까지의 거리는 1mm로 하였다.

2) α 스펙트르분석기의 특성

먼저 100~512통로에서 기록된 계수값을 측정하여 α 선폰을 평가하였다. 10d동안에 30min씩 측정한 30개의 폰계수값은 10, 7, 15, 9, 13, 12, 8, 9, 9, 13, 10, 7, 8, 4, 9, 16, 10, 12, 5, 8, 10, 8, 10, 10, 8, 12, 8, 8, 8, 11이다. 평균값은 $\bar{n} \approx 9.57$ 로서 $\bar{n}_{\text{폰}} \approx 0.32 \pm 0.07 \text{ 개/min}$, 분산은 $S^2 = 6.94$ 이므로 이 α 스펙트르분석기는 폰에 대하여 안정한 장치라고 할수 있다.

다음으로 얇은 원천에 대한 기록효율을 평가하였다.

$^{241}\text{Am}(162.1\text{Bq})$, $^{239}\text{Pu}(500\text{Bq})$ 2π 표준원천과 $^{210}\text{Po}(16.7\text{Bq})$ 4π 표준원천을 하나씩 놓고 10min동안 측정하였을 때 계수값은 각각 $25\ 125 \pm 41$, $63\ 427 \pm 60$, $2\ 373 \pm 4$ 였다. 따라서 ^{241}Am , ^{239}Pu , ^{210}Po 에 대한 기록효율은 25.8, 21.2, 23.7%이고 얇은 원천에 대한 장치의 기록효율은 21~26%라는것을 알수 있다.

표 1. 에너지교정결과

통로	에너지/keV	편차/keV
122	4 187	-37
175	4 759	81
244	5 148	-120
256	5 479	74

다음 ^{241}Am , ^{239}Pu , $^{238}\text{UO}_2$ 의 얇은 원천을 하나씩 놓고 측정하여 윗통로쪽에서 련속스펙트르가 끝나는 통로를 α 입자의 최대에너지로 보고 에너지교정을 진행하였다.(표 1)

매 통로는 5개 측정자료의 평균값으로서 오차는 ± 2 통로이며 에너지는 원천에서 방출되는 α 선의 에너지기들을 무게평균한것이다. 통로별 에너지의 회귀식은

$$E(\text{keV}) = 3\ 179.393 + 8.558 \times \text{통로 이다.}$$

2. 측정시편제조

^{210}Po 분리는 크게 두 단계 즉 습식회화와 자발석출에 의하여 이루어진다.[2]

Po은 녹음점이 254°C 로서 매우 낮고 휘발성이 있으므로 다른 방사성핵종들의 분석에서처럼 탄화, 회화과정을 거치면 대부분이 손실될수 있다. 따라서 ^{210}Po 의 분석에서는 습식회화법으로 시료처리를 한다.

식료품시료를 화학처리하여 Po이 풀려있는 염산성용액을 만들자면 식료품의 주성분인 유기물질을 제거하여야 한다.

섬조개살 200g 중에서 100g을 젖은 시료로, 나머지는 마른 시료(질량 9.1g)로 만들었다. 이것들을 각각 250mL 비커에 넣고 5mol/L HCl을 젖은 시료가 든 비커에는 100mL, 마른 시료가 든 비커에는 50mL 넣었다.

바스레기조개살 300g 중에서 150g은 젖은 시료로, 나머지 150g은 마른 시료(질량 9.2g)로 만들었다. 이것들을 각각 250mL 비커에 넣고 5mol/L HCl을 젖은 시료 비커에는 150mL, 마른 시료 비커에는 50mL를 넣었다. 이 용액에 H_2O_2 (또는 HClO_4)을 방울방울 첨가하면서 기포가 생기지 않을 때까지 6h 동안 반응시킨다. 이때 용액의 색은 검은 밤색으로부터 연한 누런색으로 변하는데 용액의 색이 진한 누런색이면 Fe^{3+} 이 있다고 보고 아스코르빈산 100mg 정도를 넣으면 Fe^{3+} 이 제거된다. 비커 밑에 침전물이 있으면 원심분리하여 제거한다.

다음 용액에 10mol/L NaOH를 방울방울 떨어뜨리면서 용액의 pH가 3 정도 되게 한다. 이때 용액의 산도는 0.5mol/L 염산성 매질이 된다. 이 0.5mol/L 염산 용액을 $80\sim 90^\circ\text{C}$ 의 온도를 보장하면서 ^{210}Po 을 니켈 또는 불수강판에 자발석출시킨다. 이때 ^{226}Ra , ^{238}U 과 같은 다른 α 방사성 핵종들은 니켈이나 철에 비해 전극전위가 낮기 때문에 자발석출되지 않는다. 그러나 Po는 니켈이나 철의 전위보다 훨씬 크므로 환경에 존재하는 α 방사성 핵종 가운데서 유일하게 자발석출된다.

다음은 Ni원판에 Po를 전착시킨다. 먼저 연마가루를 물로 적신 유리천에 묻혀서 전착하려는 직경 $30\sim 50\text{mm}$, 두께 $0.1\sim 0.5\text{mm}$ 의 Ni원판을 연마하고 물로 깨끗이 세척한 다음 한쪽 면에 접착테프를 붙인다. 그러면 접착테프를 붙인 면에는 Po가 전착되지 않고 용액에 있는 Po는 모두 연마된 Ni원판의 한쪽 면에만 전착된다.

그다음 내열, 내산성 수지 복합재료로 만든 시료접시의 윗면에 접착테프를 붙인 쪽이 아래로 가게 놓은 다음 0.5mol/L HCl 용액에 잠근다. 비커를 수욕조에 넣고 $(80\pm 5)^\circ\text{C}$ 의 온도를 보장하면서 6h 동안 내부 전해하고 전착반응이 끝나면 Ni원판을 꺼내어 증류수로 충분히 씻고 공기속에서 건조시킨다. 이렇게 하면 측정시편이 얻어진다.

3. 시편의 Po 방사능 측정

^{210}Po 은 반감기가 138.4d이고 에너기가 5.3MeV의 α 선을 방출하므로 ^{210}Po 의 방사능은 ^{210}Po 석출판을 α 스펙트럼 분석기로 측정하여 결정한다. (그림 2)

^{210}Po 표준원천은 4π 립체각으로 방출하는 α 립자수가 1000개/min 이므로 α 방사능은 $A=16.7\text{Bq}$ 이다. 표준원천의 평균계수속도는 $\bar{n}_{\text{표}}=(237\pm 1.46)\text{개}/\text{min}$ 이다.

^{210}Po 시편의 계수속도가 $n_{\text{Po}}\text{개}/\text{min}$ 인 때 방사능 A_{Po} 은

$$A_{\text{Po}} = \frac{n_{\text{Po}} - n_{\text{본}}}{\bar{n}_{\text{표}}} \cdot 16.7\text{Bq} = \frac{n_{\text{Po}} - 0.32}{237.27} \cdot 16.7\text{Bq} = 0.07(n_{\text{Po}} - 0.32)\text{Bq}$$

이다.

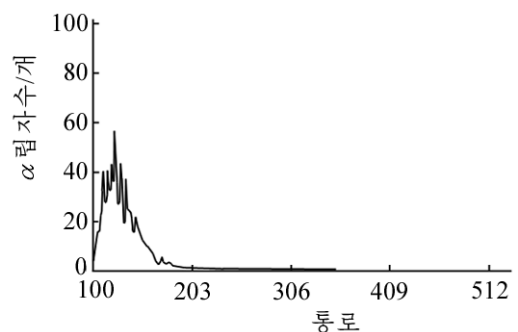


그림 2. ^{210}Po 의 스펙트럼

젖은 시료를 습식회화한 ^{210}Po 시편의 α 스펙트르측정결과는 표 2와 같다.

표 2. 젖은 시료를 습식회화한 ^{210}Po 시편의 α 스펙트르측정결과

도금 차수	도금 시간 /h	총		바스레기		섭조개	
		도금 시간 /h	도금 시간 /h	100~512 통로의 계수속도 /(개·min ⁻¹)	도금된 ^{210}Po 의 방사능 /Bq	100~512 통로의 계수속도 /(개·min ⁻¹)	도금된 ^{210}Po 의 방사능 /Bq
1	1	1		5.66	0.37	4.80	0.31
2	1	2		12.06	0.82	13.87	0.95
3	1	3		17.14	1.18	17.60	1.21
4	1	4		18.42	1.27	26.20	1.81
5	1	5		19.74	1.36	31.21	2.16
6	1	6		24.56	1.70	33.01	2.29
7	1	7		25.32	1.75	32.36	2.24

표 2에서 보는바와 같이 도금된 ^{210}Po 의 방사능은 도금시간에 따라 빨리 커지다가 6h이상에서는 거의 일정해진다.

표 2에서 최대방사능값들은 시료 250g에 들어있는 ^{210}Po 의 방사능이므로 생시료의 ^{210}Po 비방사능은 바스레기에 대하여 7.0Bq/kg, 섭조개에 대하여 8.96Bq/kg이다.

마른 시료를 습식회화한 ^{210}Po 시편의 α 스펙트르측정결과는 표 3과 같다.

표 3. 마른 시료를 습식회화한 ^{210}Po 시편의 α 스펙트르측정결과

도금 차수	도금 시간 /h	총		바스레기		섭조개	
		도금 시간 /h	도금 시간 /h	100~512 통로의 계수속도 /(개·min ⁻¹)	도금된 ^{210}Po 의 방사능 /Bq	100~512 통로의 계수속도 /(개·min ⁻¹)	도금된 ^{210}Po 의 방사능 /Bq
1	1	1		4.24	0.27	5.22	0.34
2	1	2		9.45	0.64	12.40	0.85
3	2	4		15.60	1.07	20.05	1.38
4	2	6		19.33	1.33	24.75	1.71

바스레기 마른 시료의 비방사능은 5.32Bq/kg, 섭조개 마른 시료의 비방사능은 6.84Bq/kg이다. 마른 시료를 습식회화한 시편들의 방사능값이 젖은 시료에 대하여 측정한 값보다 작아진것은 시료건조과정에 Po 이 손실되기때문이다.

이 방법으로 측정할수 있는 식료품의 ^{210}Po 시편방사능한계는 폰계수속도가 0.32개/min, 방사능이 낮은 시편의 계수속도가 $n_{\text{Po}} \approx 0.64$ 개/min 이므로 $A_{\text{Po}} = 0.07 \cdot (0.64 - 0.32) = 0.022\text{Bq}$ 이고 시료의 질량이 250g이라고 하면 식료품의 ^{210}Po 비방사능한계는 0.089Bq/kg이다.

맺 는 말

1) 물질에서의 에네르기손실특성을 리용하여 CsI(Tl)섬광체를 리용한 α 스펙트르분석기를 제작하고 그것의 특성을 결정하였다.

2) 바다생물들에 대한 ^{210}Po 비방사능을 측정하고 측정한계를 밝혔다.

참 고 문 헌

- [1] A. Baeza et al.; J. Radioanal. Nucl. Chem., 261, 2, 375, 2004.
[2] H. Tan et al.; Envir. Engineer. & Science, SC29634-0919, 499, 2000.

주제 108(2019)년 9월 5일 원고접수

Measurement of ^{210}Po Radioactivity in some Marine Raw Products by CsI(Tl) Scintillator

Pak Chol Sun, Ri Ju Yon and Pak Yong Il

We manufactured an α spectrometer using CsI(Tl) scintillation detector and considered its characteristics. And we measured the ^{210}Po radioactivity of marine raw products such as mussels and short neck clams, and found out the limit of measurement.

Keywords: α spectrometer, food analysis, measurement of radioactivity