

## Adsorption Characteristics of Radionuclides on AMP and MnO<sub>2</sub>

Chang-Kyu Kim, Cheol-Su Kim, Yong-Jae Kim and Byung-Hwan Rho  
Korea Institute of Nuclear Safety

### AMP와 MnO<sub>2</sub>에 대한 방사성핵종의 흡착특성

김창규 · 김철수 · 김용재 · 노병환

한국원자력안전기술원

(1998년 4월 5일 접수, 1998년 8월 25일 채택)

**Abstract** Adsorption characteristics of the radionuclides and stable elements on AMP and MnO<sub>2</sub> in the seawater have been investigated. The adsorption yield of AMP was 97.5% for <sup>137</sup>Cs, 11.8% for <sup>85</sup>Sr, and 15.1% for <sup>131</sup>I, while being less than 6% for other radionuclides and elements. The AMP showed the highest adsorption yield for <sup>137</sup>Cs. The adsorption yields of MnO<sub>2</sub> were more than 90% for all radionuclides and elements, except for <sup>40</sup>K, <sup>137</sup>Cs and <sup>203</sup>Hg of which the adsorption yields were less than 8%.

**Key word ;** adsorption yield, AMP, MnO<sub>2</sub>, radionuclide, seawater

**요약** - 본 연구에서는 AMP와 MnO<sub>2</sub>에 대한 해수중 방사성 핵종 및 안정원소들의 흡착율을 검토하였다. <sup>137</sup>Cs, <sup>85</sup>Sr 및 <sup>131</sup>I에 대한 AMP의 흡착율은 각각 97.5%, 11.8% 및 15.1%를 나타낸 반면, 기타 다른 핵종 및 원소에 대한 흡착율은 6%미만이였다. MnO<sub>2</sub>에 대한 흡착율은 <sup>40</sup>K, <sup>137</sup>Cs 및 <sup>203</sup>Hg를 제외한 대부분의 방사성핵종 및 안정원소에 대해 90% 이상이었으나, <sup>40</sup>K, <sup>137</sup>Cs 및 <sup>203</sup>Hg의 흡착율은 8%미만이였다.

**중심어 ;** 흡착율, AMP, MnO<sub>2</sub>, 방사성핵종, 해수

### 서론

원자력시설로부터의 액체 방사성폐기물에 대한 환경감시는 시설 주변 해역의 해수 및 해양생물중 방사능 농도의 변동준위를 조사함으로써 방사성물질로 인한 주변 환경에 미치는 방사성물질의 영향을 평가하는 것을 주목적으로 한다. 해수는 인체에 대한 직접적인 피폭원은 아니지만 해수중에 존재하는 방사성핵종은 인간이 식품으로 섭취하는 해산생물에 축적<sup>1)</sup>되어 음식물로서 체내에 흡수될 수 있다. 또한, 해수중 방사성핵종은 해수중에 존재하는 부유물에 흡착된 후 침강하여 해저퇴적물에 축적된다는 점을 고려할 때 해수시료는 시설 주변 해양감시의 목적인 원자력시설 가동의 건전성과 방사성물질 방출관리에 대한 동향을 파악하는데 매우 중요한 조사대상이다.

일반적으로 해수중에 존재하는 방사성핵종은 매우 극미량으로서 이들을 분석을 위해서는 보통

40-60L 정도의 많은량의 시료를 처리해야 한다. 또한, 해수는 많은 염류를 포함하고 있기 때문에 상수 및 강수등의 물시료에 일반적으로 적용되고 있는 증발건고법을 사용할 수 없다. 따라서, 해수에 존재하는 극미량의 방사성핵종을 AMP(Ammuniummolybdophosphate)<sup>2,3)</sup>, MnO<sub>2</sub><sup>4-6)</sup>, Fe<sup>3+</sup> 등의 공침제를 이용하여 농축한 다음, 정량하는 방법이 일반적으로 사용되고 있다. 특히, AMP는 Cs에 대한 흡착율이 선택적으로 매우 높기 때문에 해수중 <sup>137</sup>Cs 분석에 많이 이용되고 있다. 그러나, 원자력시설로부터 외부로 방출되는 액체방사성폐기물에는 <sup>137</sup>Cs 이외에 여러 가지 다른 핵종이 존재할 수 있으며, AMP 및 MnO<sub>2</sub>에 대한 이 핵종들의 흡착율도 서로 다르기 때문에 AMP 및 MnO<sub>2</sub>를 이용하여 해수중 여러 가지 방사성핵종을 동시에 분석하고자 할 때에는 AMP 및 MnO<sub>2</sub>에 대한 핵종별 흡착율을 파악할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 표1에 나타낸 것처럼 과거 60년

Table 1. 환경감시 대상 주요 방사성핵종<sup>7)</sup>.

방사성핵종	반감기	$\gamma$ -선 에너지(keV)	생성반응
<sup>51</sup> Cr	27.701 d	320.0841[9.86]	<sup>50</sup> Cr(n, $\gamma$ )
<sup>54</sup> Mn	312.20 d	834.843[99.98]	<sup>54</sup> Fe(n, p)
<sup>59</sup> Fe	44.56 d	1099.224[56.5], 1291.564[43.2]	<sup>58</sup> Fe(n, $\gamma$ )
<sup>58</sup> Co	70.78 d	810.775[99.45]	<sup>58</sup> Ni(n, p)
<sup>60</sup> Co	5.2719 y	1173.238[99.86], 1332.502[99.98]	<sup>59</sup> Co(n, $\gamma$ )
<sup>95</sup> Zr	63.98 d	724.184[43.1]	FP
<sup>95</sup> Nb	34.97 d	765.786[99.82]	FP
<sup>103</sup> Ru	39.35 d	497.08[86.4]	<sup>102</sup> Ru(n, $\gamma$ )
<sup>106</sup> Ru $\rightarrow$ <sup>106</sup> Rh	366.5 d	511.80[19]	FP
<sup>131</sup> I	8.040 d	364.480[81]	FP
<sup>134</sup> Cs	2.062 y	604.720[97.63], 795.859[85.44]	<sup>133</sup> Cs(n, $\gamma$ )
<sup>137</sup> Cs $\rightarrow$ <sup>137m</sup> Ba	30.174 y	661.660[85.1]	FP
<sup>141</sup> Ce	32.55 d	145.444[48.4]	<sup>140</sup> Ce(n, $\gamma$ )
<sup>144</sup> Ce	284.5 d	133.544[11.1]	FP

[ ] : 방출비(%)

FP : 핵분열생성물

대 대기핵실험에 기인한 방사성핵종 및 원자력시설로부터 방출이 예상되는 방사성핵종들에 대하여 AMP와 MnO<sub>2</sub>의 흡착특성을 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 시약 및 기기

방사성핵종 공침제인 AMP(Wako Pure Chemical Industries Ltd.) 및 MnO<sub>2</sub>(Junsei Chemical Co.)와 pH 조절시 사용한 암모니아수는 분석용 특급시약을 사용하였다. 표준용액의 희석에는 초고순도 염산 및 질산 (Tama Chemical Co., Ltd., Japan)을 이용함으로써 산용액중에 함유되어 있는 안정원소에 의한 오염 가능성을 가능한한 배제하였으며, 시약 조제시에는 초순수(18M $\Omega$  cm)를 사용하였다.

본 실험에서 사용된 방사성핵종(<sup>54</sup>Mn, <sup>60</sup>Co, <sup>85</sup>Sr, <sup>88</sup>Y, <sup>109</sup>Cd, <sup>113</sup>Sn, <sup>133</sup>Ba, <sup>137</sup>Cs, <sup>139</sup>Ce, <sup>203</sup>Hg)의 표준선원은 Amersham 회사의 표준용액을 사용하였으며, <sup>131</sup>I 표준선원은 한국원자력연구소 하나사에서 제조한 표준용액을 사용하였다. 한편, Cr, Fe, Zn, Zr, Ru, Ag, La, Nd 등의 원소에 대해서는 적절한 감마동위원소의 구입이 곤란하여 방사성동위원소 대신 ICP-MS (Inductively coupled plasma-mass spectrometry)용 표준용액(Merck Co.)을 각각 사용하였다.

방사성핵종의 정량에는 HPGe 검출기(Tennelec ERVDS 30-25210, USA)를 이용하였으며, 안정원

소의 정량에는 HR-ICP-MS (High resolution-inductively coupled plasma-mass spectrometry; Plasma Trace 2, Micromass Co., UK)를 이용하였다. 안정원소를 이용한 AMP 및 MnO<sub>2</sub>에 대한 흡착실험은 외부로부터의 시료오염 가능성을 배제하기 위하여 Clean room (Class 10,000) 및 Clean bench(Class 1000)내에서 실시하였다.

혼합 방사성핵종 표준선원 (5 $\mu$ Ci/5ml, Amersham Co.)은 1M HCl을 사용하여 각 방사성핵종의 방사능 농도가 약 1000 - 2000 Bq/ml 정도의 Stock 용액으로 만든 다음, 실험목적에 따라 적절한 농도로 희석하여 사용하였다. 안정원소의 경우도 방사성핵종의 경우와 마찬가지로 1000 ppm의 각 원소별 표준용액 10 ml씩을 200 ml의 Teflon용기에 취한후 0.1M HCl을 사용하여 표준용액량이 100 ml가 되도록 희석하여 각 원소별 농도가 약 100 ppm 정도되는 Stock solution을 조제하였다. 한편, HR-ICP-MS를 이용하여 각 원소별 검량선을 작성하기 위하여 Stock solution (각 원소별 농도: ~100 ppm)을 0.1M HCl로 희석하여 3 ppb, 1 ppb, 800 ppt, 600 ppt, 400 ppt, 200 ppt 농도의 표준용액을 조제하였다.

### 2. AMP 및 MnO<sub>2</sub>의 흡착실험

#### 가. 방사성핵종을 이용한 AMP 및 MnO<sub>2</sub>의 흡착실험

해수시료를 Membrane filter (pore size: 0.45 $\mu$ m, Toyo Co.)를 이용하여 여과한 후 그림 1에 나

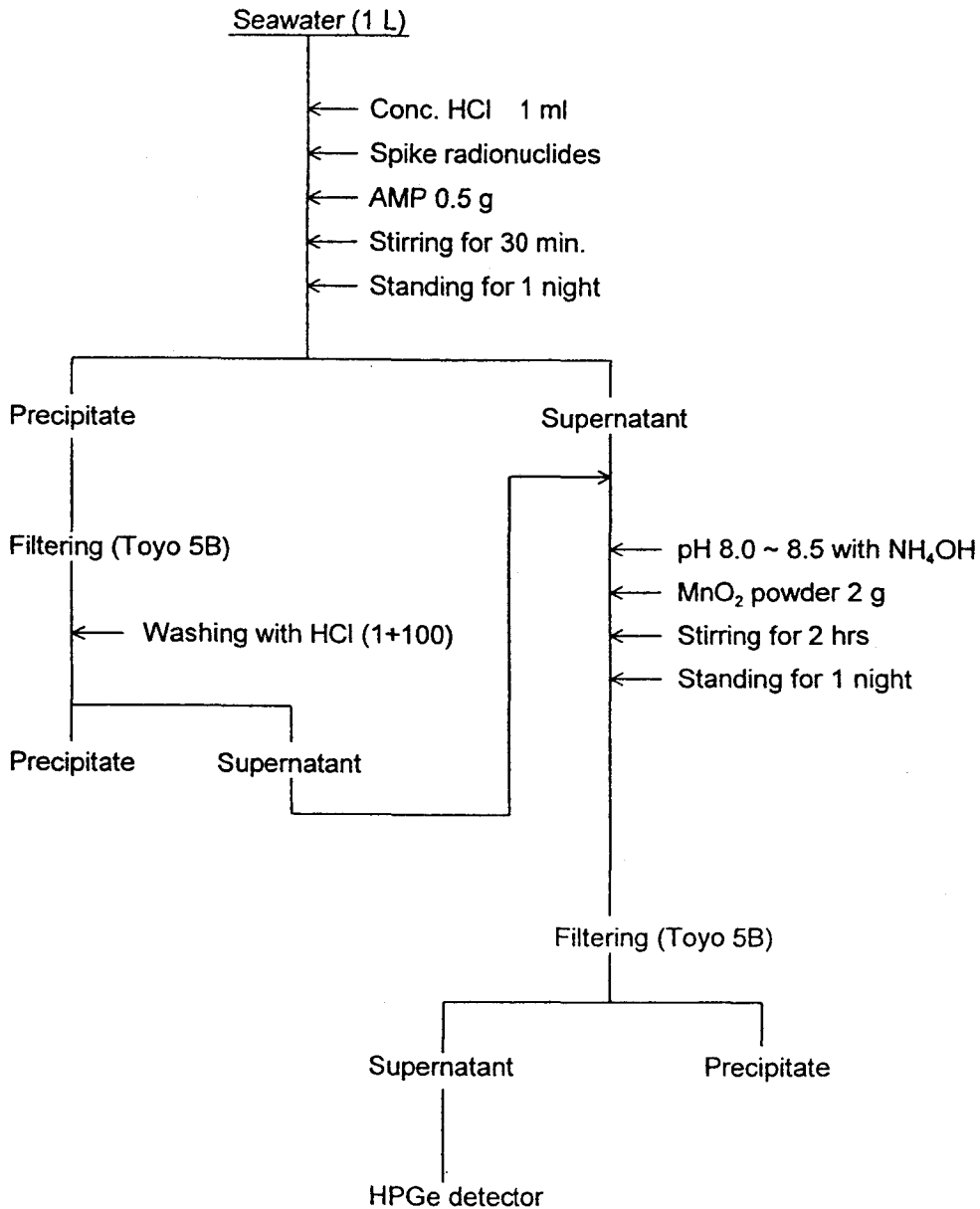


Fig. 1. Flow chart for adsorption method of radionuclides by AMP and MnO<sub>2</sub>.

Table 2. Operation conditions of HR-ICP-MS for analysis of elements.

ICP conditions								
RF power (kW)								1.32
Coolant gas flow rate (L/min.)								13
Auxiliary gas flow rate (L/min.)								1.3
Carrier gas flow rate (L/min.)								1.0
Solution uptake rate (ml/min.)								0.6
Interface conditions								
Load coil to aperture (mm)								7
Aperture diameter (mm)								1
Data acquisition								
Mass range (a.m.u.)	51.92-51.97	55.9-55.95	65.75-66.10	89.75-90.05	101.7-102.1	106.7-107.1	138.6-139.2	141.6-142.2
Resolution	2976	4680	476	489	475	468	480	482
Dwell time (ms)	100	100	50	100	100	100	100	100
Width points	60	80	20	40	40	20	40	40
Peak widths	5.0	5.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Number of scans	1	1	1	1	1	1	1	1

탄젠 것처럼 여과된 해수 1 L를 3 L 용량의 비이커 3개에 각각 취하고 진한염산을 1 ml 첨가하여 시료용액을 산성으로 만들었다. 시료용액에  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{88}\text{Y}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{139}\text{Ce}$  및  $^{203}\text{Hg}$  동위원소를 표3과 같은 농도로 첨가한 다음 교반기를 이용하여 30분간 교반하여 첨가한 방사성핵종이 시료와 충분히 혼합되도록 한 다음 AMP 0.5 g을 첨가하고 1시간 동안 교반하였다. 시료를 하루밤 방치한 다음 여과지(Toyo 5B)를 이용하여 흡인여과한 후, 염산(1+100)용액으로 시료용기 및 AMP 침전을 세척한 후 세척액도 여과하였다. 이와같은 방법으로 얻어진 여과액중 1 L를 측정용기에 넣고 HPGe 검출기를 이용하여 각각의 감마 방사성핵종을 80,000초간 계측하였으며, 이 계측결과를 이용하여 AMP 흡착율을 계산하였다. 한편, AMP 침전을 여과하고 남은 여과액에 암모니아수를 첨가하여 pH를 8.0 - 8.5으로 조절한 후  $\text{MnO}_2$  분말을 여과액 1 L당 2 g의 비율로 첨가하여 2시간 동안 교반한 다음, 하루밤 동안 방치하였다.  $\text{MnO}_2$  침전을 여과지(Toyo 5B)를 이용하여 흡인여과하고 소량의 증류수로 세척한 다음 여과액중 1L를 측정용기에 넣고 HPGe 검출기를 이용하여 감마 방사성핵종을 계측하여  $\text{MnO}_2$ 의 흡착율을 계산하였다.

#### 나. 안정원소를 이용한 AMP 및 $\text{MnO}_2$ 의 흡착 실험

앞서 조제한 안정원소의 Stock solution을 200 ml 용량의 비이커 3개에 각각 10 ml씩을 취한 후

Membrane filter (pore size:  $0.45\mu\text{m}$ )를 이용하여 여과한 해수시료를 첨가하여 총 시료량이 100ml가 되도록 하였다. AMP 0.05g을 넣고 1시간 동안 교반하여 하루밤 방치한 후 여과지(Toyo 5B)를 이용하여 흡인여과한 다음 염산(1+100)용액으로 시료용기 및 AMP 침전을 세척하였다. 여과한 후 얻어진 각각의 여액으로부터 0.05ml씩을 분취하여 100 ml 용량의 Teflon 용기에 각각 넣고 0.1M HCl용액을 첨가하여 총 시료량이 50 ml가 되도록 한 다음 HR-ICP-MS를 이용하여 각각의 안정원소를 정량하였다. AMP 침전을 여과한 다음 얻어진 여액의 pH를 8.0 - 8.5으로 조절한 후  $\text{MnO}_2$  분말을 여과액 1 L당 2 g의 비율로 첨가하여 2시간 동안 교반한 다음 하루밤 방치하였다.  $\text{MnO}_2$  침전을 여과지(Toyo 5B)를 이용하여 흡인여과하고 소량의 증류수로 세척한 다음 각각의 여과액 0.05 ml를 50 ml Teflon 용기에 분취하고 0.1M HCl 용액으로 시료용량이 50 ml가 되도록 한 다음 표2에 나타난 조건에서 HR-ICP-MS로 안정원소를 정량하였다.

한편, AMP 및  $\text{MnO}_2$ 의 흡착 실험과정에서 시약 또는 용기 및 외부공기로부터의 오염에 의한 영향을 보정하기 위하여 200 ml 비이커에 Stock solution을 만들 때 사용했던 0.1M HCl 10 ml를 넣은 후 해수시료를 첨가하여 시료용량이 100 ml가 되도록 한 다음 앞서 언급한 방법과 동일한 방법으로 바탕시료를 만들었다.

Table 3. 방사성핵종 및 안정원소별 AMP의 흡착율.

핵종 및 안정원소	첨가농도			흡착후 여액중 농도			AMP 흡착율(%)*			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	평균
<sup>40</sup> K	163	175	241	158	168	229	3.09	3.90	4.96	3.98±0.94
<sup>54</sup> Mn	81.4	84.7	111	79.9	83.7	109	1.82	1.24	1.52	1.53±0.29
<sup>60</sup> Co	768	810	1055	738	800	1034	3.99	1.24	1.97	2.40±1.42
<sup>85</sup> Sr	862	914	1185	768	796	1048	10.9	12.9	11.6	11.8±1.01
<sup>88</sup> Y	1485	1573	2045	1460	1551	2015	1.64	1.40	1.47	1.50±0.12
<sup>109</sup> Cd	3995	4209	5487	3847	4158	5369	3.70	1.21	2.15	2.35±1.26
<sup>113</sup> Sn	698	743	936	692	733	928	0.84	1.41	0.78	1.01±0.35
<sup>131</sup> I	2740	2890	3770	2385	2404	3186	13.0	16.8	15.5	15.1±1.93
<sup>137</sup> Cs	70.4	73.4	97.4	1.69	2.72	1.0	97.6	96.3	98.5	97.5±1.11
<sup>133</sup> Ba	1462	1546	2012	1449	1529	1990	0.90	1.10	1.07	1.02±0.11
<sup>139</sup> Ce	190	194	258	177	184	243	7.17	5.14	5.51	5.94±1.08
<sup>203</sup> Hg	528	545	719	506	523	691	4.02	3.89	3.33	3.75±0.37
Cr	9.68	9.63	9.62	9.46	9.40	9.45	2.30	2.37	1.73	2.13±0.35
Fe	9.73	9.67	9.66	9.46	9.47	9.38	2.82	2.05	2.92	2.60±0.48
Zn	9.65	9.60	9.59	9.56	9.50	9.51	0.96	1.05	0.81	0.94±0.12
Zr	9.42	9.37	9.36	9.17	9.11	9.13	2.64	2.82	2.49	2.65±0.17
Ru	9.52	9.46	9.45	9.35	9.31	9.30	1.84	1.59	1.56	1.66±0.15
Ag	9.44	9.38	9.37	9.23	9.16	9.17	2.22	2.32	2.17	2.24±0.08
La	9.39	9.34	9.33	9.17	9.11	9.16	2.39	2.48	1.83	2.23±0.35
Nd	9.38	9.32	9.31	9.14	9.08	9.12	2.54	2.59	2.00	2.38±0.33

주 : \*); 흡착율 = (첨가농도-흡착후 여액중농도)/첨가농도 × 100

N.D.); 검출하한치 이하

단위 ; 방사성핵종-Bq, 안정원소-ppm

## 결과 및 고찰

### 1. AMP의 흡착 특성

AMP는 Hetero-poly산이라고 총칭되는 다염기산(12-hetero-polic acid)으로서, 예를 들면  $Z_3[XM_{12}O_{40}]^{3-} \cdot nH_2O$ 의 일반적인 화학식으로 표시할 수 있다. 여기서 Z는 통상 H<sup>+</sup> 혹은 알칼리 금속이온과 치환될 수 있다. X는 Hetero원자라고 말할 수 있으며 P, As, Ge, Si, B등의 원소를 예로 들 수 있다. 그외에 I-VII족 원소도 Hetero원자로 사용이 가능하다. M은 음이온 구조의 중심이 되는 배위원자로서 Mo, W, Nb, V등이 이에 속하며 산소와 Hetero원자로 둘러싸여 있다<sup>2)</sup>. AMP의 중성염은 (NH<sub>4</sub>)<sub>3</sub>PMO<sub>12</sub>O<sub>40</sub>의 형태로서 산성염은 조제시 pH에 따라 약간의 차이가 있으나 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>PMO<sub>12</sub>O<sub>40</sub>로 표시할 수 있다. Cs에 대한 흡

착능력은 산성염이 중성염보다 크며 Cs가 흡착되면 Cs<sub>2</sub>NH<sub>4</sub>PMO<sub>12</sub>O<sub>40</sub>의 형태가 된다. 문헌에 의하면<sup>3)</sup> 3개의 암모니아 이온중 1개의 암모니아 이온은 치환이 용이하나 그외에 2개의 암모니아 이온은 치환되기 어려우며 이론상의 치환용량은 1.57 meq/g이다. 그러나, 대부분의 경우 화합물의 입체 효과 때문에 약 1 meq/g정도가 유효한 치환용량으로 알려져 있다<sup>3)</sup>.

해수중의 <sup>137</sup>Cs을 포집하는데 사용되는 AMP의량은 해수중에 안정원소로 존재하는 Cs이 0.3 μg/L정도의 매우 극미량으로, 해수 1 L에 AMP 0.2 g 정도면 <sup>137</sup>Cs를 충분히 포집할 수 있을 것으로 판단된다. AMP에 대한 방사성핵종의 흡착율은 식(1)을 이용하여 계산하였으며

$$\text{흡착율}(\%) = \frac{\text{첨가농도} - \text{흡착후 여액중 농도}}{\text{첨가농도}} \times 100 \quad (1)$$

표 3은 AMP에 의한 해수중 방사성핵종의 흡착율을 나타낸 것으로 <sup>137</sup>Cs만 97.5 %의 흡착율을 나타내었으며, <sup>89</sup>Sr와 <sup>131</sup>I는 각각 11.8 % 및 15.1 %의 흡착율을 나타내었다. 한편, 기타 다른 핵종의 경우는 대부분 6 %미만의 낮은 흡착율을 나타내었다. 이러한 결과로부터 AMP는 해수중 <sup>137</sup>Cs를 선택적으로 포집할 수 있는 매우 좋은 흡착제임을 알 수 있다.

**2. MnO<sub>2</sub>의 흡착특성**

해수중 방사성핵종의 농축을 위하여 AMP를 사용할 경우 <sup>137</sup>Cs만이 AMP에 흡착되기 때문에 다른 방사성핵종의 농축을 위해서는 다른 종류의 흡착제가 필요하다. MnO<sub>2</sub>는 이러한 목적을 위한 흡착제로 적합한 것으로 알려져 있다<sup>8,9)</sup>. MnO<sub>2</sub>의 구조는 제조방법에 따라 차이가 있으나 일반적으로 (MnOx)<sub>2</sub>OH (X=1.7~1.75)로써 산과 알칼리에서 양이온 치환성을 갖는다. 알칼리 금속보다 알칼리 토금속에 대한 선택성이 높으며 2가의 금속은 보

통 MCl의 형태로 흡착된다. 표4는 MnO<sub>2</sub>에 대한 해수중 방사성핵종의 흡착율을 나타낸 것이다. 흡착율은 AMP의 경우와 마찬가지로 식 (1)을 이용하여 계산하였다. 해수중에서 양이온으로 존재하는 대부분의 방사성핵종은 MnO<sub>2</sub>에 대하여 90 % 이상의 흡착율을 나타내는 반면, 원자가 1가 상태의 <sup>40</sup>K와 <sup>137</sup>Cs은 8 %미만의 낮은 흡착율을 나타내었다. 또한, 주기율표 IIB족에 속하는 Zn, Cd, Hg(<sup>203</sup>Hg)중 Zn과 Cd(<sup>109</sup>Cd)의 MnO<sub>2</sub>에 대한 흡착율은 90 %이상의 높은 값을 나타내고 있으나, Hg(<sup>203</sup>Hg)에 대해서는 6.6% 수준의 낮은 흡착율을 나타내었다. 또한, 음이온으로 존재하는 <sup>131</sup>I은 2 %미만으로서 MnO<sub>2</sub>에 거의 흡착되지 않는 것을 알 수 있다.

**결론**

본 연구에서는 여러 가지 방사성핵종 및 안정원소의 AMP 및 MnO<sub>2</sub>에 대한 흡착특성을 조사하였

**Table 4.** 방사성핵종 및 안정원소별 MnO<sub>2</sub>의 흡착율.

핵종 및 안정원소	첨가농도			흡착후 여액중 농도			MnO <sub>2</sub> 흡착율(%)			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	평균
<sup>40</sup> K	158	168	229	150	161	217	5.10	4.41	5.27	4.93±0.46
<sup>54</sup> Mn	79.9	83.7	109	0.40	0.50	N.D.	99.5	99.4	100	99.6±0.32
<sup>60</sup> Co	738	800	1034	39.8	5.60	9.30	94.7	99.3	99.1	97.7±2.6
<sup>85</sup> Sr	768	796	1048	70.6	89.2	124	90.8	88.8	88.2	89.3±1.4
<sup>88</sup> Y	1461	1551	2015	5.84	6.20	8.06	99.6	99.6	99.6	99.6
<sup>109</sup> Cd	3847	4158	5369	304	33.3	193	92.1	99.2	96.4	95.9±3.6
<sup>113</sup> Sn	692	733	928	11.1	5.13	9.28	98.4	99.3	99.0	98.9±0.5
<sup>131</sup> I	2385	2404	3186	2354	2384	3131	1.32	0.87	1.73	1.31±0.43
<sup>137</sup> Cs	1.69	2.72	1.46	1.56	2.52	1.34	7.80	7.31	8.14	7.75±0.42
<sup>133</sup> Ba	1449	1529	1990	4.35	4.59	7.96	99.7	99.7	99.6	99.7±0.1
<sup>139</sup> Ce	177	184	243	N.D.	N.D.	N.D.	100	100	100	100
<sup>203</sup> Hg	506	523	691	473	491	642	6.54	6.23	7.02	6.60±0.40
Cr	9.46	9.40	9.45	0.359	0.103	0.369	96.2	98.9	96.1	97.1±1.6
Fe	9.46	9.47	9.38	0.095	0.284	0.131	99.0	97.0	98.6	98.2±1.1
Zn	9.56	9.50	9.51	0.497	0.247	0.295	94.8	97.4	96.9	96.4±1.4
Zr	9.17	9.11	9.13	N.D.	N.D.	N.D.	100	100	100	100
Ru	9.35	9.31	9.30	N.D.	N.D.	N.D.	100	100	100	100
Ag	9.23	9.16	9.17	2.10	2.17	2.20	77.2	76.3	76.0	76.5±0.6
La	9.17	9.11	9.16	N.D.	N.D.	N.D.	100	100	100	100
Nd	9.14	9.08	9.12	N.D.	N.D.	N.D.	100	100	100	100

주 : \*) : 흡착율 = (첨가농도-흡착후 여액중농도)/첨가농도 x 100  
 N.D.) : 검출하한치 이하  
 단위 : 방사성핵종-Bq, 안정원소-ppm

다. 그 결과 AMP에 대한 <sup>137</sup>Cs의 흡착율은 97.5%로서 매우 높은 선택성을 나타내고 있음을 알 수 있었으며, MnO<sub>2</sub>에 대해서는 대부분 원소의 흡착율이 90% 이상인 반면, <sup>40</sup>K, <sup>203</sup>Hg, <sup>137</sup>Cs 및 <sup>131</sup>I의 경우는 8%미만의 낮은 흡착율을 나타내었다. 따라서, 단일시료로부터 여러 가지 핵종을 동시에 분석하고자 하는 경우에는 AMP와 MnO<sub>2</sub>의 공침 침전물을 혼합하여 정량하여야 하며, <sup>40</sup>K, <sup>131</sup>I 및 <sup>203</sup>Hg의 경우는 AMP와 MnO<sub>2</sub>에 대한 흡착율이 낮아 이러한 핵종에 대해서는 AMP 및 MnO<sub>2</sub> 공침법의 응용이 곤란할 것으로 판단된다.

본 연구에서 얻어진 AMP 및 MnO<sub>2</sub>에 대한 여러 가지 방사성핵종의 흡착율 자료는 원자력시설에 대한 환경감시와 같이 다수의 해수시료중 방사성핵종을 반복적으로 분석하는 감시업무에 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

### 참고문헌

1. M. Saiki, *Environmental Radioactivity*, Soft Science, Inc., Tokyo, Japan(1984).
2. 妹尾學, 阿部光雄, 鈴木喬編, *イオン교환*, 講談社(1985).
3. 阿部光雄, *合成無機イオン交換体の分析化學への應用II - 酸性塩, ヘテロポリ酸塩 不溶性フェロシアン化物*, 日化, 23, 1561(1974).
4. R. Gandon and P. Guegueniat, "Preconcentration of <sup>125</sup>Sb onto MnO<sub>2</sub> from seawater samples for gamma-ray spectrometric analysis", *Radiochimica Acta*, 57, 159(1992).
5. S. M. Hasany, M.H. Chaudhary, "Adsorption of cadmium from aqueous solutions on manganese dioxide", *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 84(2), 247(1984).
6. S. M. Hasany, M.H. Chaudhary, "Studies on the adsorption behavior of trace amount of cerium on manganese dioxide from aqueous solutions on the presence of complexing agents", *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 111(1), 199(1987).
7. H.D. Lemmel, *X-ray and Gamma-ray Standards for Detector Calibration*, International Atomic Energy Agency, IAEA-TECDOC-619(1991).
8. C. Bigliocca, "Radiochemical separations by adsorption on manganese dioxide", *Anal. Chem.*, 39(13), 1634(1967).
9. S. M. Hasany, M.H. Chaudhary, "Adsorption studies of Cobalt(II) on manganese dioxide from aqueous solution", *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, 32(10), 747(1981).