

## 유/무기 복합 이온교환제를 이용한 코발트, 스트론튬, 세슘 제거: 칼럼실험

이윤지, 박연진\*, 신원식\*, 최상준\*

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

\*경북대학교, 대구광역시 북구 산격동 1370번지

[vi1024@kaeri.re.kr](mailto:vi1024@kaeri.re.kr)

### 1. 서론

원자력발전소에서 작업자의 의복류세탁 시 발생하는 세탁폐액은 극미량의 방사성 핵종 및 다량의 이온 그리고 계면활성제를 포함하고 있다. 계면활성제를 함유한 폐액은 증발법을 이용하여 처리하면 거품작용으로 인하여 농축기로부터 방사성 물질이 동반배출(carry over)되고, 역삼투 공정의 경우 감용이 진행될수록 계면활성제의 농도가 높아지면 막표면에 농도 분극현상이 두드러져 처리량이 감소하는 문제점이 발생할 수 있다.[1] 따라서 본 연구에서는 이온교환법을 적용하였다. 이때 합성한 AMP-PAN과 양이온교환수지(Amberjet 1600H)를 칼럼 반응기에 적용하여 비방사성 이온과 계면활성제가 Co, Sr, Cs의 처리에 미치는 영향을 비교·평가하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 실험방법

본 연구에서는 높이 5.5 cm, 지름 2.5 cm의 유리 칼럼(LG 이화학, Korea)을 이용하여 6g의 Amberjet 1600H(Rohm and Hass Korea Co., Ltd)와 AMP-PAN을 충전하였다. 이때 지름이 작고 밀도가 큰 Amberjet 1600H는 칼럼의 중간에 채운 후 칼럼 내 남은 부피는 glass bead(D: 1.5mm, Sigmund Lindner GmbH, germany)를 위, 아래에 충전하여 연속식 실험을 수행하였다. 이때 1 BV(bed volume)는 27 mL이다. 실험에서는 모의 용액을 제조하여 실시하였으며, 방사성 물질의 모사는 Aldrich Chemical사의 시약급 시약  $Sr(NO_3)_2$ ,  $Co(NO_3)_2$ ,  $CsNO_3$ 를 사용한 비방사성 동위원소로 이루어져 있다. Na와 Ca의 농도를 5 mM 로 고정하고 1 mM의 Co, Sr, Cs이 존재하는 모의 용액을 제조하여 비방사성 이온의 영향을 평가하였다. 그리고 계면활성제의 영향은 위의 폐수에 0.1 mM의 양이온 계면활성제(DTAC)와 0.01 mM의 비이온 계면활성제(Triton X-100)

가 동시에 포함된 모의 폐수를 제조하여 칼럼의 유입수로 적용하였다. 이때 0.05 M의 MES buffer (2- [morpholino] ethasulfonic acid, ACROS Organics, USA)를 이용하여 유입수의 pH는 5로 유지하였다. 이 유입수를 충전된 칼럼에 상향(up-flow)으로 1 mL/min을 흘려보내 유출액을 샘플링 하였고 유출수 내의 중금속 농도는 ICP-OES(PerkinElmer Co., USA)로 분석하였다.

### 2.2 결과

#### 2.2.1 비방사성 이온의 영향

AMP-PAN을 충전한 칼럼에서 비방사성 이온의 영향을 평가하는 실험을 수행하고 파과곡선을 Fig. 1에 나타내었다. Co, Sr, Cs, Na, Ca은 1 BV, 1 BV, 88 BV, 0.7 BV, 1 BV에 파과시점에 도달하였다. Cs을 제외한 모든 금속이 흡착이 이루어지지 않는 것으로 나타났으며, AMP-PAN에 선택성을 가지는 Cs도 이전 연구에서 진행한 다성분(Co/Sr/Cs)조건의 결과(131 BV)보다 43 BV 이 감소하였다. Smit et al.은 Cs과 Na은 AMP-PAN의  $NH_4$  이온의 교환을 위해 같은 흡착 site에서 경쟁한다고 하였다. 즉, 비방사성 이온(Na)이 Cs의 흡착에 영향을 미치는 것이다.[2]

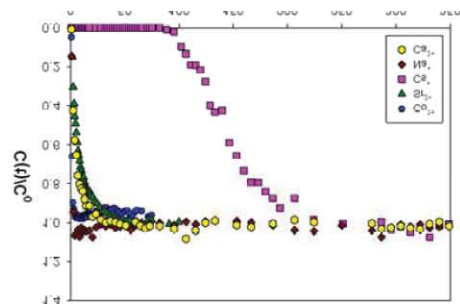


Fig. 1. BTC of effect of cation sorption for Co, Sr, Cs, Na and Ca onto AMP-PAN columns.

Amberjet 1600H의 파과곡선을 Fig. 2에 나타내었으며, 모든 금속이온의  $C(t)/C_0$  값이 1이상으로 올라갔다. 파과시점은 Co 24 BV, Sr 18 BV, Cs 21 BV으로 다성분 조건의 실험에서 Co 122 BV, Sr 102 BV, Cs 102 BV보다 각각 98 BV (80%), 84 BV (82%), 81 BV (79%)가 당겨졌다.

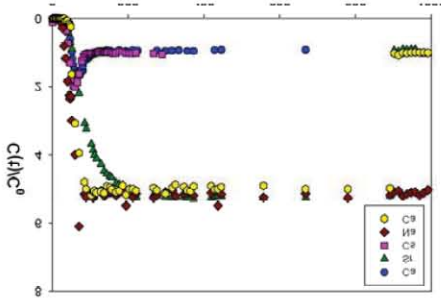


Fig. 2. BTC of effect of cation sorption for Co, Sr, Cs, Na and Ca onto Amberjet 1600H columns.

2.2.2 계면활성제의 영향

Fig. 3은 AMP-PAN을 충전한 칼럼에 CMC 농도 이하의 계면활성제가 포함된 모의폐수를 흘려준 실험의 결과이며, Co, Sr, Na, Ca의 경우 흡착이 되지 않았다. Cs의 경우 역시 파과시점이 61 BV으로 비방사성 이온이 공존했을 때의 88 BV보다 27 BV이 감소하여 계면활성제에 영향을 받았지만, Co와 Sr보다 계 영향을 받지 않았고 즉 Cs에 대한 선택성을 가짐을 설명할 수 있다.

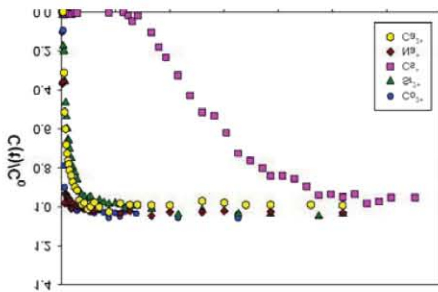


Fig. 3. BTC for applying synthetic wastewater on sorption of Co, Sr, Cs, Na and Ca onto AMP-PAN columns.

Amberjet 1600H를 적용한 실험에서 얻어진 파과곡선을 Fig. 4에 나타내었다. 파과시점은 Co 21 BV, Sr 26 BV, Cs 14 BV, Na 15 BV, Ca 28 BV이고, 비방사성 이온이 공존하는 조건의 실험 결과와 비교하면 Co, Cs, Na, Ca이 각각 3 BV, 7

BV, 4 BV, 5 BV 당겨졌지만, Sr은 반대로 8 BV이 늘어났다. 또한 계면활성제의 영향으로 수화이온 크기(4.12 Å)가 동일한 Sr과 Ca은 흡착능, 반응 자리에 대한 경쟁이 감소하며 유출되지 않은 것으로 사료된다.[3] Co, Cs, Na은 비방사성 이온이 공존하는 조건에서  $C(t)/C_0$  값이 2이상으로 치솟았던 것과는 다르게 약 1.5까지 치솟아 흡착능의 감소로 반응 자리에 여유가 생겼다.

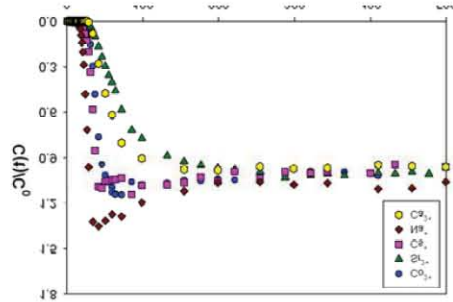


Fig. 4. BTC for applying synthetic wastewater on sorption of Co, Sr, Cs, Na and Ca onto Amberjet 1600H columns.

3. 결론

칼럼을 이용한 비방사성 이온과 계면활성제의 영향을 평가한 결과, 핵종의 흡착능이 전반적으로 감소하였다. 그러나 AMP-PAN에 대한 Cs의 흡착효율은 Co와 Sr에 비해 적게 감소하였으며, AMP-PAN이 Cs에 대한 선택성이 뛰어남을 의미한다. 또한 위의 실험결과를 바탕으로 AMP-PAN에 대한 흡착친화도는 Cs >> Sr > Ca > Co > Na 순이며, Amberjet 1600H의 친화도는 Sr > Ca > Co > Cs > Na의 순으로 나타낼 수 있다.

4. 참고문헌

[1] Operation of Radioactive Waste Facility in KAERI, Annual Report of KAERI, 1991.  
 [2] Ammonium salts of the heteropolyacids as cation exchanger, Nature, vol.181, p. 1530-1531, 1958.  
 [3] Adsorption characteristics of Cu(II) onto ion exchange resins 252H and 1500H: kinetics, isotherms and error analysis, Journal of Hazardous Materials, vol.143, p. 469-477, 2007.