초임계 이산화탄소를 이용한 seasand의 제염

이정근, 유재룡, 고문성, 박광헌
경희대학교, 경기도 용인시 기흥구
whoisaoi@khu.ac.kr

1. 서론

원자력 발전소는 폐기물을 적게 발생시키면서 많은 전기를 생산할 수 있는 친환경적인 에너지원이다. 그러나 지속적으로 원자력을 이용한 발전이 진행됨에 따라 폐기물의 양도 증가하고 있다. 특히 원자력발전 시설 주변의 토양은 장반감기를 갖고 있는 방사성 물질을 많이 포함하고 있다. 현존하는 토양 제염방법은 높은 수압을 이용한 Flushing과 Washing 하는 방법이 가장 많이 이용되고 있다. 그러나 이 제염법은 다량의 2차 폐기물을 발생하는 문제점을 가지고 있다. 본 연구에서는 독성이 없으면서 2차 폐기물 발생량을 줄일 수 있는 초임계 이산화탄소를 이용하여 Seasand로부터 금속 이온을 추출하였다. 본 연구의 최종 목적은 초임계 이산화탄소를 이용한 모의시편 추출 실험을 통하여 실제시편 추출 실험의 가능성을 확인하는 것이 될 것이다.

2. 실험 및 결과

모의시편 제조에 앞서 주요 금속 이온으로 코발트, 납, 아연, 카드뮴, 스트론튬을 선택하였다. 코발트와 스트론튬은 원자력발전소 주변 토양에서 많이 검출되는 핵종이고 납과 아연, 카드뮴은 일반적인 토양에 많이 포함되어 있는 중금속들이다. 금속이온 표준 용액에는 각각의 금속 이온이 1M 질산에 1000 ppm의 농도로 용해되어 있다. 모의시편에 금속이온을 균질하게 흡착시키기 위해서, 먼저 각각의 금속이온 표준 용액을 5 mL 씩 취하여 vial에 넣은 후(총 25 mL), 초음파장치로 약 30분간 교반한다. 모의 시편을 만들기 위해서 길이 5 cm 지름 0.7 cm의 원통형 Glass tubing을 준비한 뒤 한 쪽에 유리솜을 넣고 seasand(JUNSEI, 20-30 mesh, chemical pure) 1.0 g을 Glass tubing에 넣는다. 그리고 초음파 장치로 섞어준 표준 용액으로부터 100 μL를 마이크로 피펫으로 취하여 Glass tubing 내에 있는 seasand에 흡착시킨다. 그 후에 seasand 내에 수분을 제거하기 위해 진공펌프(80℃, 40 Torr)에 약 한 시간 가량 모의시편을 넣어둔다. 이론적으로 모의시편에 묻어있는 수분이 모두 증발되면 seasand에는 각 0.02 μg의 금속이온이 흡착되어 있기 때문에 seasand에 흡착되어 있는 금속이온의 총 양은 0.1 μg이 된다.

효과적인 금속이온을 추출을 위해서 본 연구에서는 몇 가지 킬레이트 리간드를 선정하였다 [Cyanex-272 (Diisooctylphosphinic acid, 290.43 g/mole), DEA(Di Ethyl Amine, 73 g/mole), B18C6(Benzo-18-crown-6, 312.37 g/mole), Net4 PFOSA(Perfluoro-1-Octanesulfosic acid, 629.38 g/mole)]. 선정된 킬레이트 리간드 중에서, Cyanex-272와 DEA는 코발트와 납, 아연, 카드뮴의 제거에 효과가 있고 B18C6와 Net3 PFOSA는 스트론튬의 제거에 좋은 효율을 가지고 있다고 알려져 있다. 실험 장치는 Fig 1

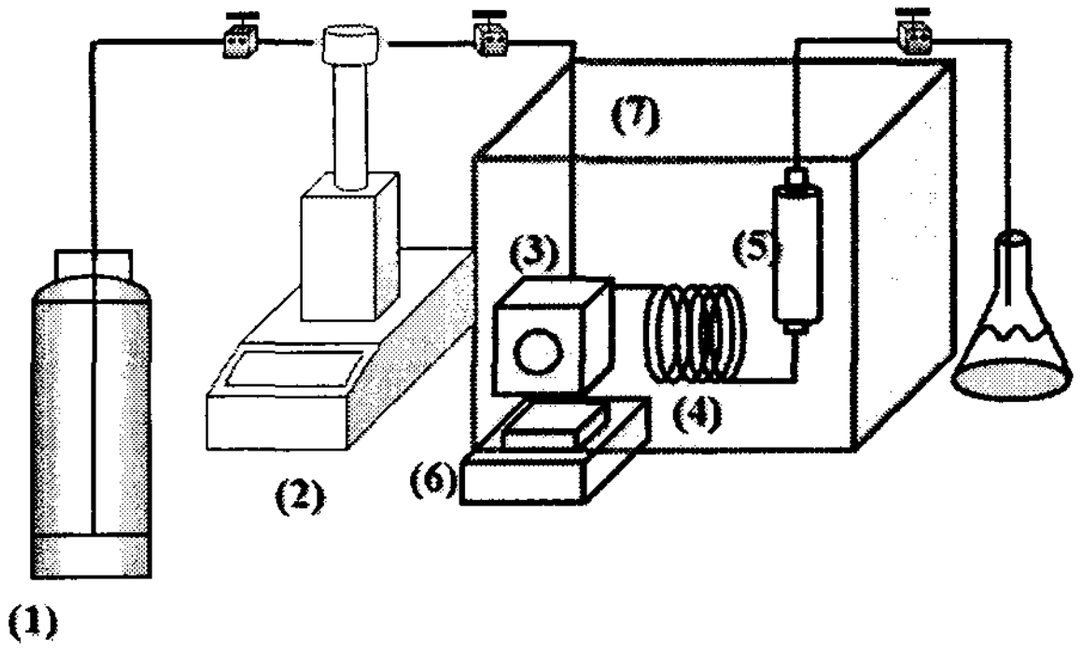

Fig 1. 추출 실험을 위한 실험 장치 구성
(1) CO_2 실린더 (2) 실린지 펌프 (3) 교반 용기
(4) 예열 용기 (5) 원통형 실험 용기
(6) 교반기 (7) 항온조

에 나타내었다.

교반 용기에 표 1에서 주어진 실험 조건에 따라 킬레이트 리간드를 넣고 킬레이트 리간드를 균일하게 혼합하기 위해서 교반기를 이용해서 교반해준다. 그리고 앞에서 만들어진 금속이온이 흡착된 모의시편을 원통형 실험 용기에 넣고 실린지 펌프와 항온조를 이용해서 압력과 온도를 각각 200 bar와 60℃로 유지해 준다. 200 bar의 압력과 60℃의 온도 조건에서 30분간 교반을 한 후 30분간 동적 추출 실험을 수행한다.

표 1. 실험조건

	Metal-ions solution (μL)	Cyanex -272 (μL)	DEA (μL)	B18C6 (μg)	Net4 PFOSA (μg)	Additive (μL)
실험조건 1	100	1860	20	0	0	H_2O 50
실험조건 2	100	1860	40	0	0	MeOH 50
실험조건 3	100	1860	40	0	0	0.1M HNO_3 50
실험조건 4	100	1860	40	209	0	H_2O 50
실험조건 5	100	1860	40	104.5	47	0.1M HNO_3 50

실험 결과를 비교하기 위해서 본 연구에서는 ICP(Inductively Coupled Plasma spectrometer, LEEMA ABS. INC., U.S.A)를 사용하였다. ICP를 찍기 전에 먼저 표준시편을 제작하였는데 표준시편은 추출 실험을 수행하지 않은 모의시편을 1M 질산 15 mL에 넣고 30분간 초음파장치를 이용해서 교반한 뒤 질산만을 취하여 사용하였다. 추출 실험 후의 시편도 표준시편과 동일한 방법으로 전처리 하여 추출율을 확인하였다.

이렇게 분석된 실험결과를 각 실험 조건에 따라 Fig 2에 나타내었다. 카드뮴과 아연, 코발트는 Cyanex-272와 DEA, 두 가지의 킬레이트 리간드만를 사용하였을 때에 약 80 % 이상의 추출 효율이 나타났다. 그러나 납과 스트론튬의 제거 효율은 두 가지의 킬레이트 리간드만을 사용하였을 때, 50-65% 정도로 타 핵종에 비해 비교적 낮은 값을 보여주었다. 그러나 미량의 B18C6와 Net4 PFOSA를 추가하였을 때는 5가지 핵종 모두 90% 이상의 높은 추출 효율을 갖는 것을 확인할 수 있었다.

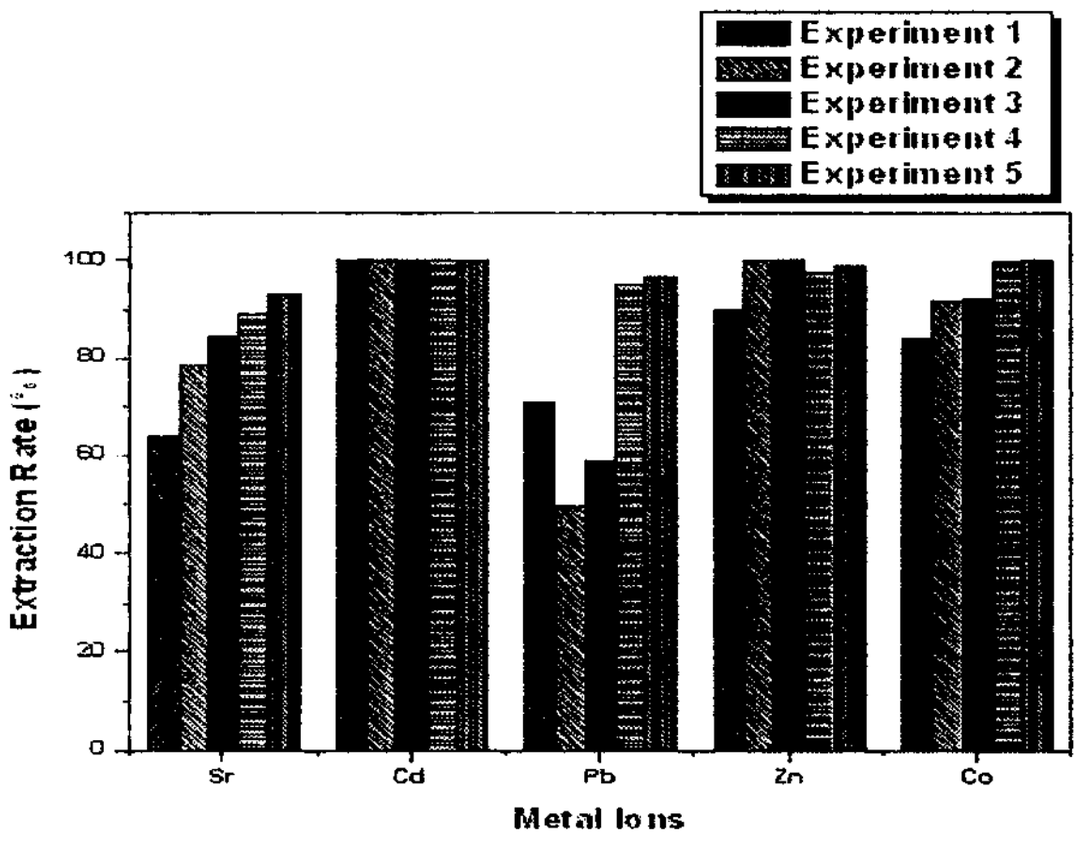

Fig 2. Sr, Cd, Pb, Zn, Co 추출 실험 결과

3. 결론

본 연구에서는 일련의 추출 실험을 통하여 Cyanex-272와 DEA로 카드뮴과 아연의 추출 효율을 80% 이상 얻을 수 있었다. 또한 납과 스트론튬의 높은 추출 효율을 얻기 위해서 미량의 B18C6와 Net4 PFOSA를 추가하였고 모든 핵종에 대해서 90% 이상의 추출 효율을 얻을 수 있었다. 특히 코발트, 스트론튬, 카드뮴, 납, 아연을 흡착시킨 모의 시편을 이용한 추출실험을 수행함으로서 실제 토양으로부터도 위에 언급한 금속 이온을 추출 할 수 있는 가능성을 확인하였다.