

'98 춘계학술발표회 논문집

한국원자력학회

방사성 세탁폐액 처리공정 연구

김종빈, 박세문

전력연구원

대전광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

원자력발전소에서 발생하는 방사성 세탁폐액의 처리연구를 위하여 100L/h 처리용량의 오존접촉조-활성탄탑-역삼투막-이온교환수지탑의 복합공정을 제작하고 영광 4호기에 설치하여 단위공정별 성능실험을 수행하였다. 오존에 의한 세제 제거율은 약 50%로 나타났으며, 활성탄탑을 거친후에는 거의 모든 유기물이 제거되었다. 역삼투막에 의하여 방사성핵종 제거율 실험은 원수의 부피를 1/10로 줄이는 데까지 농축도를 증가시키면서 수행하였는데, 농축도에 따라 핵종제거율이 약간 감소하는 경향은 있었으나 대체적으로 99% 정도의 제거율을 나타내었다.

1. 서론

역삼투막 공정은 초순수제조 뿐 아니라 폐기물처리분야에서도 그 활용도가 증가하고 있다.[1] 원자력발전소의 방사성 세탁폐액에는 약 50 ~ 200 ppm의 계면활성제, 10^{-5} $\mu\text{Ci/cc}$ 이하의 방사성 물질, 약 1,000 ppm 정도의 용존염 및 기타 금속수산화물에 의한 콜로이드 화합물 등이 다양하게 포함[2] 되어 있는데 이들 물질로 인해 역삼투막 공정에 의한 조업시 막오염이 필수적으로 동반된다.

따라서 막오염을 최소화하기 위해 전처리를 수행하여야 되는데 전처리는 막오염 형태에 따라 여러 가지 방법이 현재 사용되고 있으나 방사성 세탁폐액을 처리함에 있어서는 감용율이 증가함에 따라 농축액의 농도가 높아지게 되고 이때 계면활성제에 의한 막의 농도분극이 발생하게 되어 막오염이 심각해 지게 된다.[3]

본 고에서는 영광원자력 발전소 제4호기에서 발생하는 방사성세탁폐액 처리를 위하여 폐액내의 세제를 오존으로 부분적으로 산화·파괴시킨후 활성탄탑-역삼투막-이온교환수지탑의 복합공정에 의한 처리효과를 실증한 결과를 기술하였다. 실증실험을 위해 제작된 장치와 실험 절차 및 변수들은 그림 1과 같다.

II. 실험 재료 및 방법

1. 방사성세탁폐액 원수

실증시험용 폐액은 영광 2발전소 4호기 세탁폐액 저장탱크의 원액을 폴리에틸렌으로 만들어진 200ℓ 저장탱크에 이송한 것을 사용하였다. 세탁폐액의 방사능농도가 $10^{-7} \mu\text{Ci/cc}$ 정도이었기 때문에 방사능측정의 용이성을 확보하기 위하여 RCS폐액(방사능농도 : $10^{-2} - 10^{-3} \mu\text{Ci/cc}$) 일정량을 첨가하여 방사능이 $10^{-4} - 10^{-5} \mu\text{Ci/cc}$ 이 되도록 조절하였다.

2. 여과

폐액의 원활한 오존접촉과 현탁고형물에 의한 활성탄 막힘 현상을 제거하기 위해 정밀여과막(Microfilter, 15 μm)를 사용하여 세탁폐액내에 존재하는 현탁고형물을 사전 제거하였다. 또한 역삼투막으로 유입되는 활성탄탑 유출수 내의 미세 활성탄 입자로 인한 역삼투막 오염을 방지하기 위해 역삼투막 전단에 1 μm 의 정밀여과막을 설치하였다.

3. 오존산화

세탁폐수내의 세제를 산화분해하기 위해 오존이 공급되었는데, 오존산화에 적용된 실험조건은 표 1과 같다. 세제가 함유된 세탁폐액은 오존접촉과 동시에 거품이 다량 발생하는데 이 문제를 해결하기 위해 접촉조 상단에 Hot air를 이용한 거품제거기를 설치하였다. 오존처리된 폐액은 중력에 의해 활성탄탑으로 이송되는 자연수위 조절방식을 사용하여 오존접촉조의 수위를 일정하게 유지하였다.

4. 활성탄흡착

오존산화공정을 거친 폐액은 약 2.4 ℓ/min의 일정한 유속으로 활성탄탑에 유입되어 폐액속의 잔류 세제를 흡착 제거하도록 하였는데, 활성탄 흡착에 적용된 실험조건은 표 1과 같다. 활성탄 흡착반응으로 세제가 제거된 폐액은 역삼투막으로 핵종을 제거하기 위해 2차 저장탱크(200 ℓ)로 유입되었다.

5. 역삼투막공정

20 kg/cm²의 운전압력으로 역삼투막에 폐액을 공급하였으며 이때 투과 flux는 120 ℓ/hr 이었다. 또한 폐액의 농축도에 대한 방사성 핵종 제거율 변화를 파악하기 위하여 90% 까지 순환 농축하였는데 운전도중 압력조절 valve를 이용하여 운전압력을 20 kg/cm²로 일정하게 유지하였다.

6. 이온교환반응

역삼투막에 의한 처리수는 농축도가 높아질 수록 투과수의 방사능 농도가 상승하게 되므로 핵종 제거율이 저하된다. 따라서 방사성 핵종을 완벽하게 제거하기 위해 이온교환수지탑이 사용되었다. 실험조건은 표 1과 같다.

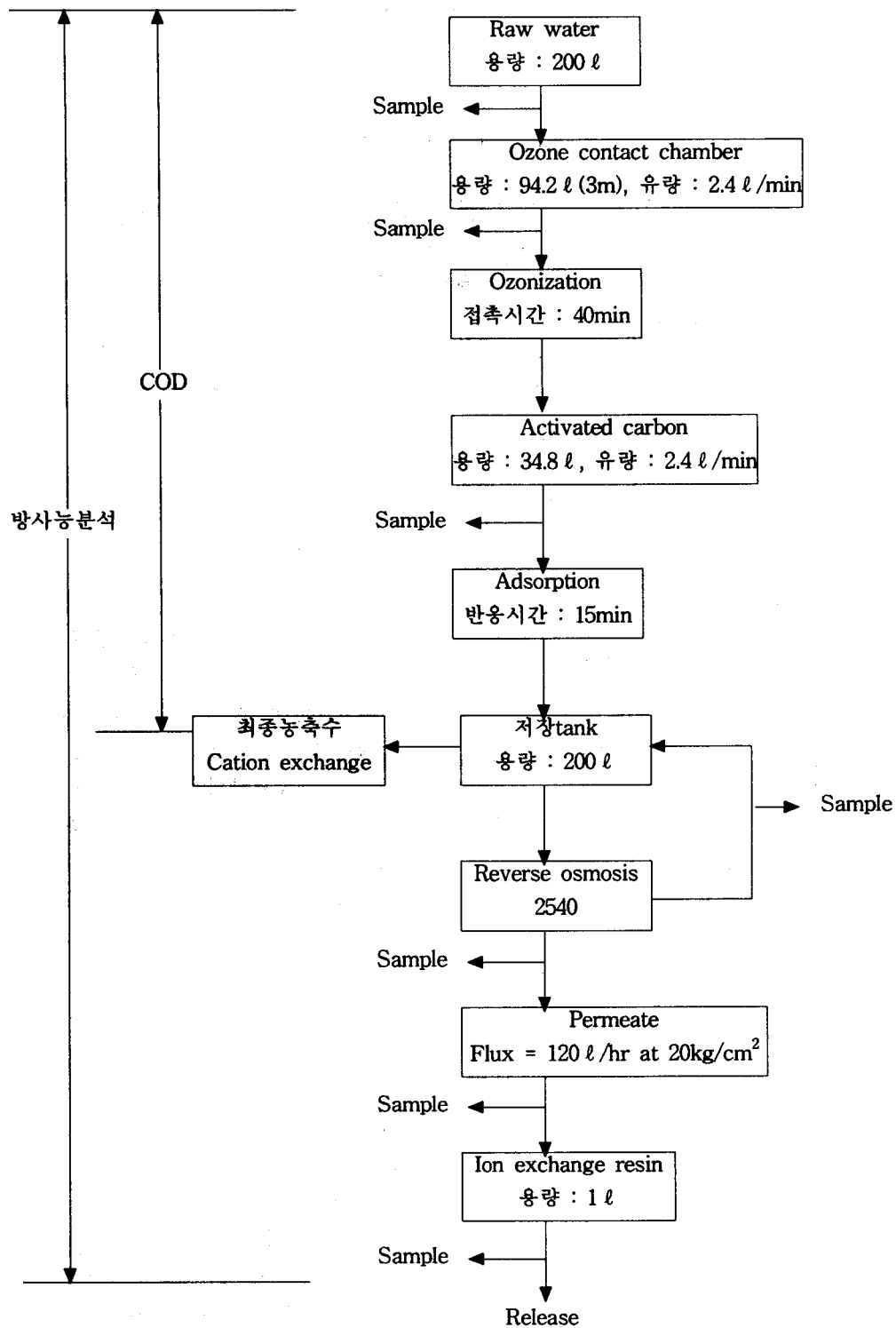


그림1. Schematic of combined system for laundry radwaste water treatment

표1. 각 공정별 조건

공정별	조건
오존산화	오존접촉용량 : $\phi 200 \times 3m = 94.2 \ell$ 공급유량 : 약 $2.4 \ell/min$ 산소공급량 : $7.5 \sim 10 \ell/min$ 오존발생량 : $100 mg/\ell$ 오존접촉시간 : 40 min
활성탄	활성탄 용량 : $\phi 200 \times 1.1m = 34.8 \ell$ (≒ 17.4 kg, 활성탄비중 = 0.5) 반응시간 : 15 min 흡착선속도 ≒ $7 cm/min$
이온교환	이온교환수지량 : $\phi 50mm \times H375mm$ 선속도 : $15.5 cm/min$ 반응시간 : 2 min 25 sec.

III. 결과 및 고찰

1. 탁도(Turbidity)

역삼투막에 공급되는 폐액의 탁도가 5 NTU 이상일 경우에는 caking과 같은 심각한 막오염을 일으킬수 있으며 역삼투막 운전에 필요한 최적의 탁도가 1 NTU이므로 오존 및 활성탄 처리에 의한 탁도변화를 관찰하고 탁도 제거 방안을 강구하고자 하였다.

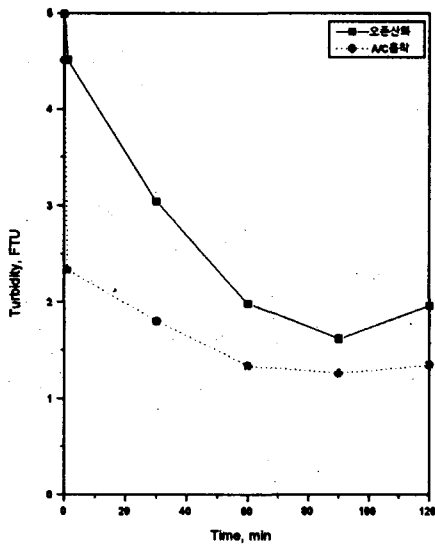


그림 2. 현장 세탁폐액의 오존 및 활성탄 처리에 의한 탁도변화

한 막오염을 일으킬수 있으며 역삼투막 운전에 필요한 최적의 탁도가 1 NTU이므로 오존 및 활성탄 처리에 의한 탁도변화를 관찰하고 탁도 제거 방안을 강구하고자 하였다. 그림 2에 나타나 있듯이 폐액원수의 탁도가 5를 넘지 않으므로 원수자체 만으로도 심각한 막오염을 유발하지는 않을 것으로 생각된다. 또한 오존 및 활성탄 처리에 의한 탁도는 어느정도 제거가 가능하지만 전반적으로 운전시간이 길어질 경우 탁도 제거율이 약간 저하되는 것을 알 수 있었다. 그러나 오존 및 활성탄 처리에 의해 3 NTU 이하로 탁도를 제거할 수 있을 것으로 판단되며 그 이하로 탁도를 낮추기 위해서는 U/F 이상의 고밀도 filter를 활용해야 할 것으로 생각된다.

2. 세제제거(COD)

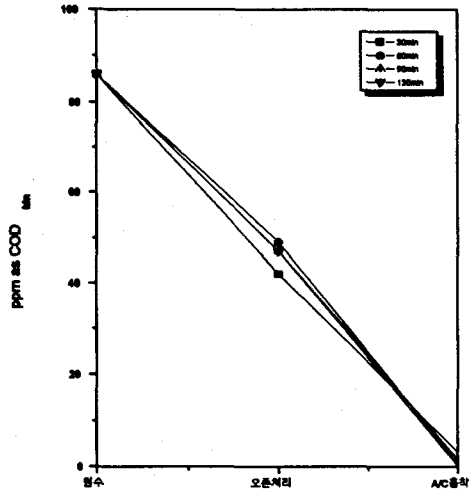


그림 3. Pilot-scale장치를 이용한 현장폐액 세제제거 실험

방사성세탁폐액을 처리하는데 있어 가장 큰 장애요인으로 작용하는 세제를 제거하기 위해 오존과 활성탄이 사용되었다. 오존에 의한 세제 제거는 오존의 강력한 산화력을 이용하여 세제를 분해하여 저급탄화수소 또는 CO₂화하는 것으로 세제의 상당부분을 분해할 수 있었는데 평균 50%의 세제 분해율을 나타내었다. 또한 활성탄은 유기물의 흡착능력이 뛰어나므로 파괴되지 않고 잔류하는 세제성분을 흡착제거하기 위해 적용되었으며, 그림 3과 같이 오존산화에 의해 제거되지 않은 유기물 성분을 대부분 제거할 수 있었으며 회분식실험에서 얻어진 결과와 column연속실험 결과가 거의 일치함을 보여준다.[4]

3. 방사성 핵종제거

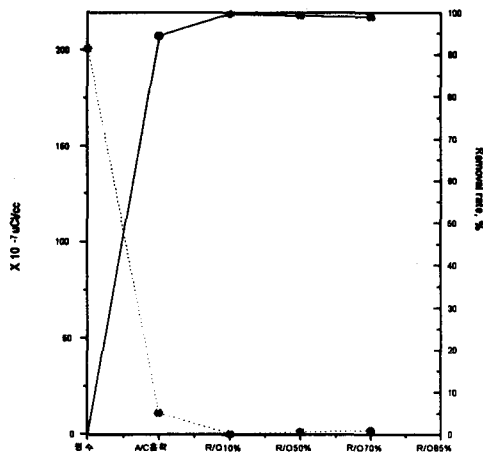


그림 4. Pilot-scale장치를 이용한 현장폐액 핵종제거 실험

복합공정 전반에 걸친 방사성 핵종 제거율 변화를 관찰하였다. 그림 4에서 점선은 오존접촉조-활성탄흡착탑의 전처리 공정을 거친후의 총방사능 변화와 역삼투막 공정에서 농축도의 변화에 따른 총방사능 변화를 나타내고 있으며, 실선은 총방사능 제거율을 보여주고 있다. 활성탄에 의한 방사성 핵종 제거율은 95% 이상으로서 매우 우수한 것으로 나타났다. 폐액을 역삼투막으로 90%까지 농축하여 투과수 회수율에 따른 방사성 핵종 제거율을 분석하였는데 회수율 50% 이상에서 점진적으로 약간의 제거율 저하가 있었으나 원수 대

비 제거율면으로는 99%이상을 유지하는 것을 알 수 있었다. 특히 90%까지 농축할 경우에도 투과수의 방사능 농도는 크게 저하되지 않았는데 이것은 모의폐액을 이용한 실험결과와는 약 10%의 차이를 나타냈는데 그 이유로는 폐액속에 잔존해 있던 총용존 고형물(TDS)이 모의폐액과 비교하여 상대적으로 적었던 때문으로 판단된다.

IV. 결론

원자력발전소에서 발생하는 방사성 세탁폐액처리 연구를 위하여 100L/h 처리용량의 오존접촉조-활성탄흡착탑-역삼투막-이온교환수지탑의 복합공정에 대해 각 단위 공정별로 성능을 평가하였다. 오존 접촉조에 의한 세제 제거율은 약 50% 정도로 나타났으며 이로인해 오존산화 공정을 사용하지 않았을 때에 발생될 수 있는 폐활성탄량을 50% 이상 감소할 수 있을 것으로 예상된다. 또한, 오존접촉조의 운전시의 문제점인 거품발생은 Hot air를 접촉조 윗부분의 거품 유출배관에 넣어넣어 거품을 파괴한 후 폐액저장탱크로 재순환시키는 방법에 의해 해결할 수 있으나, 오존접촉조 운전 및 보수가 어렵다는 단점은 여전히 존재한다. 향후 세제를 제거할 수 있는 UV 방법 또는 전기산화법에 대한 비교 검증실험이 필요하다. 또한 농축도를 10배까지 증가시켰을 때 핵종 제거율을 99% 정도까지 유지할 수 있었으나, 100 - 200 배까지 증가시키면서 역삼투막의 성능을 분석하고 이 때 농축수내의 세제 제거능을 확인하는 추가 실험이 필요하다.

참고문헌

1. Park, H.H and Lee, K.W, KAERI/AR-257/85(1985)
2. 이인형, 김종빈, "역삼투막을 이용한 방사성세탁폐액처리 기술개발", KEPRI/중간보고서(1997.6)
3. Zahid Amjad (edn.), Reverse Osmosis, Membrane Technology, Water Chemistry and Industrial Application, Van Nostrand Reinhold, NY(1992).
4. 김종빈 外. (97년 춘계 원자력 논문집 II, p235)