

초음파/초임계 설비를 이용한 한빛1발전소 증기발생기 취출수계통의 폐수지 감용 연구

김대성¹, 송종순^{2*}

¹한국수력원자력(주) 한빛원자력본부, 전라남도 영광군 홍농읍 홍농로 846

²조선대학교, 광주광역시 동구 필문대로 309번지

*kds00765@khnp.co.kr

1. 서론

원자력발전소 증기발생기 취출수계통에서 발생하는 폐수지 일부에서 미량의 방사성핵종을 함유한 폐수지가 발생되어 처분하지 못하고 발전소내에 임시보관 하고 있다. 이미 폐수지를 물리 화학적 방법으로 방사성핵종을 분리·추출 하는 기술이 개발되어 왔으며, 증기발생기 취출수(Blow Down)계통 탈염탑은 증기발생기 세관누설 시 방사성물질을 제거하여 2차계통의 오염확산을 방지하기 위한 수질정화 계통으로서 호기 당 연간 약 5,000 l 정도의 폐수지가 발생되고 있다. 한빛 1발전소에서 보관중인 폐수지 시료에 대한 핵종분석결과, ⁶⁰Co와 ¹⁴C 핵종의 방사능 농도가 규제기관에서 제시하는 자체처분 규제기준값과 절차서상의 기준값인 0.1 Bq/g과 1 Bq/g을 약간씩 초과하고 있는 것으로 나타났다. 이들 방사성폐수지 내에 함유된 ⁶⁰Co 핵종 제거를 위해 초음파와 초임계 장치를 이용한 분리, 추출기술을 적용하였으며, 증기발생기 취출수계통에서 발생한 폐수지의 자체처분을 위한 공정 확립과 초음파/초임계 설비를 도입하여 한빛1발전소 취출수계통에 적용하여 공정별 시운전 및 실험 결과에 대해 기술하였다.

2. 본론

2.1 초음파 처리장치 주요공정

수지저장탱크의 용수와 폐수지가 초음파처리탱크로 이송이 완료되면 교반기(600 rpm)를 작동시키고 용수펌프를 이용해 용수저장탱크의 용수를 초음파처리탱크로 이송하여 각종 필터를 거쳐 다시 용수저장탱크로 투입된다. 초음파처리탱크의 용수 순환이 확인되면, Push-Pull 초음파 장치를 작동하여 폐수지 중 이물질을 탈착 시키고 이물질은 용수와 함께 초음파처리탱크를 빠져나와 필터로 걸러진다. 초음파 처리는 60 분간 조사하였고, 10 분 간격으로 처리된 폐수지를 채취하여 감마 핵종을 평가 하였다. 초음파 제염처리장치 공정도를 Fig. 1 에 정리하였다.

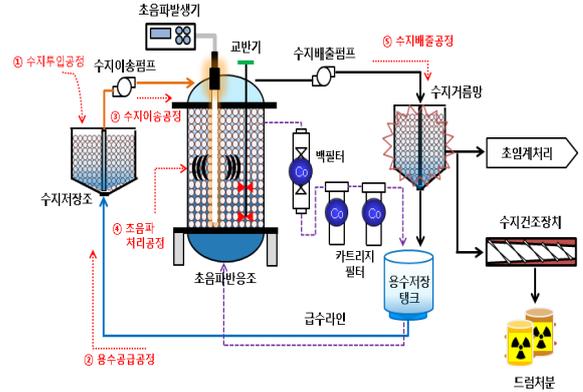


Fig. 1. Ultrasonic decontamination apparatus process.

2.2 폐수지를 이용한 초음파 제염결과

한빛 제1발전소에서 보관중인 폐수지를 초음파 처리장치를 이용하여 제염을 실시한 결과를 Table 1 에 나타내었다.

Table 1. Major nuclear decontamination classification results ultrasonic treatment device

핵종	비방사능(Bq/g)		비고
	처리 전	처리 후	
⁶⁰ Co	0.211	0.015	분석시간 : 10,000초
		0.0068	
¹³⁷ Cs	0.0137	0.016	
		0.011	
		0.0065	

제염결과 ⁶⁰Co의 검출량이 7,200 초에서 MDA 미만으로 나왔으며 측정시간을 10,000 초로 늘려 분석한 결과 0.0063~0.0065 Bq/g으로 거의 완벽하게 처리되었다. ¹³⁷Cs의 경우 오염농도가 0.0137 Bq/g으로 IAEA 규제해제 허용농도값(0.1 Bq/g)의 1/10수준으로 자체처분 기준치를 만족하였다. 또한, 폐수지에 부착되어 있는 이물질이 제거되어 폐수지의 형상이 Fig. 2 및 Fig. 3 와 같이 새수지의 형상으로 복원됨을 확인 할 수 있었다.

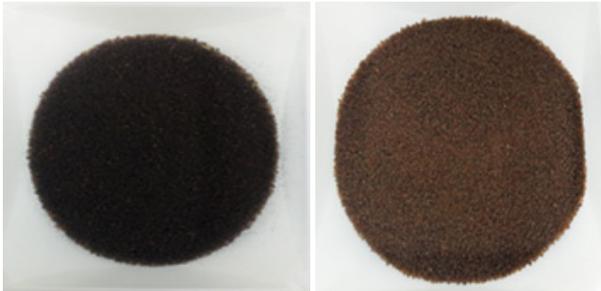


Fig. 2. Ultrasonic treatment before/after waste resin look.

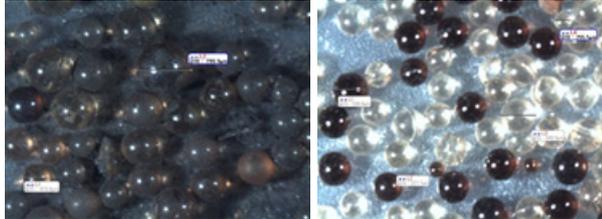


Fig. 3. Ultrasonic treatment before/after waste resin microscope magnification look.

2.3 초임계 처리장치 주요공정

초임계 유체란 뚜렷한 액상과 기상이 존재하지 않은 임계 이상의 온도와 압력에서 존재하는 어떤 물질로, 기체처럼 고체속으로 쉽게 확산되며 액체처럼 물질에 쉽게 용해되는 특징을 지니고 있어 빠르게 대용량의 용질을 추출할 수 있음. 이산화탄소가 초임계 유체로 주로 사용되며, 킬레이트 리간드를 이용하여 수용액 내에서 금속이온과 착화물을 형성하여 금속이온을 유기용매로 추출, 제거하는 기술이다. 초임계 공정은 이산화탄소를 공급하여 초임계를 만들고 폐수지를 추출반응조로 투입 후 설정압력을 유지하고 리간드가 추출반응조에 투입되면서 오염물질을 분리/추출하는 공정을 한다. 초임계 제염처리장치 공정도를 Fig. 4에 정리 하였다.

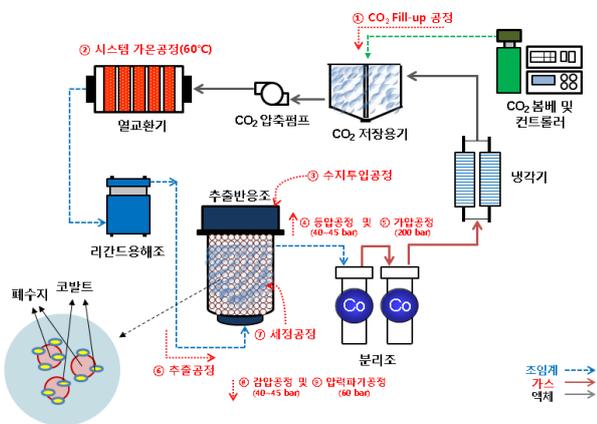


Fig. 4. Supercritical decontamination apparatus process.

2.4 초임계 처리장치 제염결과

폐수지에 대한 초임계 시스템을 이용한 제염실험 결과는 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Non-radioactive Co decontamination efficiency of supercritical apparatus using a pilot device

시료량 (ml)	리간드량(ml)	추출 전 (ppm)	추출 후 (ppm)	효율 (%)
Co 수용액 500ml	C-272 : 25ml	55.2	0.592	98.9
	DEA : 25ml	60	11.2	81.3
		60	4.1	93.2

Table 2의 이온상태로 존재하는 비방사성 Co의 경우 C-272, DEA와 같은 추출제를 사용하면 수용액 속의 Co를 거의 완벽하게 제거할 수 있음을 나타내어 비방사성 Co 물질을 이용한 제염성능 실험은 매우 우수한 것으로 나타났다.

3. 결론

본 장치는 소형화 및 자동화 개념을 도입하여 장치 운영의 편리성과 효율적 운영을 위한 발전소의 공간적 한계를 극복하는데 초점을 맞추어 개발하였다. 연구를 진행하는 과정에서 제염장치의 운전 편의성과 안전성을 제공하기 위해 최적화된 제염공정 절차를 작성하였으며 자동연속처리가 가능한 상용 제염시스템 설계자료를 확보하였다. 향후 본 제염기술을 잘 활용 한다면, 원전에서 발생하는 극미량의 오염 폐수지에 완벽한 제염을 수행하게 되어 방사성폐기물 발생량 저감화와 처분비용 저감화에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 참고문헌

- [1] 인산암모늄과 초음파 복합공정을 이용한 오염수지중의 ¹⁴C 제거실험, 한국방사성폐기물학회 2015 춘계학술대회.
- [2] 오염수지의 초음파 제염에 따른 물성평가, 한국방사성폐기물학회 2013 추계학술대회.
- [3] 마이크로버블 및 초음파를 이용한 오염폐수지 제염연구, 한국방사성폐기물학회 2013 춘계학술대회.
- [4] 초임계 이산화탄소를 이용한 방사성 폐수지 중의 ⁶⁰Co 추출기술, 한국방사성폐기물학회 2012 춘계학술대회.