

이온교환법과 증발법을 이용한 방사성폐액 처리성능 비교/연구

A Comparison and Study for The Processing Ability of Liquid Radioactive Waste Using Ion-Exchange Demineralizer and Evaporator

최기섭, 김승평, 김성영

조선대학교

광주광역시 동구 서석동 375번지

요 약

원자력발전소내에서 발생하는 액체폐기물은 크게 계통폐액, 세탁폐액, 화학폐액으로 분류된다. 폐액의 처리는 증발기를 이용하여 처리해왔으나 불순물 및 화학물질에 의해 부식, 막힘, 거품발생 등의 문제점이 노출되기 시작하였다. 이러한 문제점을 보완하고자 대체설비인 이온교환수지를 이용하여 액체폐기물 처리방식이 도입되었다. 폐기물처리방식별 처리성능을 알아보고자 방사성물질의 방출량, 주변주민의 방사선피폭선량, 제염성능 및 폐기물발생량 측면에서 설계치와 운전에 따른 실적치를 비교 검토 하였다. 방사성물질의 방출량은 설계측면에서 이온교환방식보다 약 20%높게 설계되었으며 실제 방출량은 비교기간동안 0.473 mCi, 1.098 mCi로서 이온교환방식에서 2.32배 높았으며 주변주민피폭선량도 연간 6.47E-06 mSv로서 증발방식의 2.97E-06 mSv보다 높게 평가되었다. 제염계수는 증발방식의 경우 대부분 LLD미만으로 처리가 되었으나 이온교환방식은 수집된 폐액의 농도가 낮아 제염계수가 상당히 낮게 나타났다. 폐기물발생량은 실적이 없어 설계값측면에서 검토해본 결과 연간 232드럼, 163드럼으로 이온교환방식에서 낮게 발생하는 것으로 나타났다.

Abstract

Most of low-level liquid radioactive wastes generated from PWR plants are classified with high or low total suspended solid(HTDS or LTDS), radio-chemical waste and radioactive laundry waste. Although evaporation process has the ability of high decontamination, it has several problems such as corrosion, foaming, etc. In comparison with the current evaporation practice for low level liquid waste, the new processing used with ion-exchange demineralizer is installed for the first time in Yonggwang NPP #5&6. The released radioactivity volume for liquid radioactive wastes, dose of off-site residents, decontamination factor and the mount of solid radioactive wastes are respectively reviewed to understand what difference is

between ion-exchange demineralizer(IED) and evaporator. The released radioactivity volume for liquid radioactive wastes per year in evaporating system, 0.473 mCi, is 2.32times higher approximately than that of IED, 1.098mCi. Dose of off-site residents, $2.97E-06$ mSv, $6.47E-06$ mSv respectively, is slightly higher than that of evaporating system. Decontamination factor(DF) for the processing of evaporator is far less than lower limits of detection(LLD) for Ge-Li detector in many cases. Decontamination factor for IED is very low, because radioactivity of upstream is much lower than design activity of liquid radwaste system. Otherwise, the mount of solid radioactive wastes generated by evaporation processing system on the basis of design is 42% more generated than that of IED.

1. 서론

발전소 운전중 기기배수, 바닥배수 및 오염폐수 등의 액체폐기물이 발생되며 증발기를 이용한 방식을 세계적으로 폭넓게 사용하여 왔으며 처리 성능 면에서 지금도 상당히 우수한 결과를 갖고 있으나 폐액내에 존재하는 불순물 및 화학물질에 의해 부식, 막힘, 거품발생 및 폐액 내 불산의 결정화 성질 때문에 폐액농축도를 높이는데 제한을 받게 되므로 증발농축기에만 의존하는 폐액처리법으로는 폐기물감용효과를 크게 기대할 수 없다.

이온교환처리에 의한 원자력발전소 방사성폐액 처리공정은 비교적 제염효과가 우수하고 공정이 간단하며 유지보수가 쉽다는 장점이 있지만, 기존의 이온교환공정은 방사성핵종 뿐만 아니라 방사능을 띠지 않는 일반 이온까지도 모두 제거하기 때문에 이온교환수지의 수명이 짧아 일반 이온을 많이 함유하는 방사성폐액 처리에는 적합하지 못하다.

우리나라의 경우 고리1호기이후 현재까지 대부분 증발기를 이용한 처리방식을 사용해왔으며 최근에 증발기를 대체하는 쪽으로 적극적인 해결책을 모색해왔고 영광 5,6호기에 마침내 새로운 이온교환방식을 채택하게 되었다.

따라서, 본 논문에서는 새로운 액체폐기물처리방식이 도입되면서 기존의 증발기를 이용한 처리법과 이온교환법을 이용한 처리에 있어 방사성물질의 소외방출, 방사선피폭선량, 제염계수, 폐기물발생량 등을 설계치와 비교하여 어느정도를 나타내는지 종합적으로 비교/분석하였다.

2. 액체방사성폐기물 처리에 대한 고찰

2.1 국내외 원전 액체폐기물계통 현황

액체폐기물처리방식은 증발기를 이용한 방법이 주류를 이루다가 여러 가지 운영상의 문제점이 드러나면서 미국을 중심으로 이온교환설비를 이용하여 처리하는 방식으로 전환되어 왔다. 우리나라는 고리 1호기 건설이후 증발기를 이용한 방식을 사용해왔으나 운전편의성을

증가시키고 작업자 방사선피폭을 최소화하려는 노력이 커지면서 영광 5,6호기부터 이온교환 방식을 이용한 액체폐기물 처분방법이 도입되었으며 국내 모든 가압경수로형 발전소의 액체 폐기물계통 폐액수집방식, 폐액처리방식 및 주 처리설비를 <표 2-1>에 정리하였다.

표 2-1 국내 PWR 원전 액체방사성폐기물 수집 및 처리 현황

원 전 명	용량 (MWe)	상업운전	NSSS 공급	폐액 수집 방식	폐액 처리방식	주처리설비
Kori 1	587	78	W	혼합수집	혼합처리	증발기
Kori 2	650	83	W	혼합수집	혼합처리	증발기
Kori 3	950	85	W	혼합수집	혼합처리	증발기
Kori 4	950	85	W	혼합수집	혼합처리	증발기
Yonggwang 1	950	86	W	혼합수집	혼합처리	증발기
Yonggwang 2	950	86	W	혼합수집	혼합처리	증발기
Yonggwang 3	1000	94	CE	혼합수집	혼합처리	증발기
Yonggwang 4	1000	95	CE	혼합수집	혼합처리	증발기
Yonggwang 5	1000	02	CE	혼합수집	혼합처리	이온교환기
Yonggwang 6	1000	03	CE	혼합수집	혼합처리	이온교환기
Ulchin 1	950	88	F	혼합수집	혼합처리	증발기
Ulchin 2	950	89	F	혼합수집	혼합처리	증발기
Ulchin 3	1000	97	CE	혼합수집	혼합처리	증발기
Ulchin 4	1000	98	CE	혼합수집	혼합처리	증발기
Ulchin 5	1000	04	CE	혼합수집	혼합처리	이온교환기
Ulchin 6	1000	05	CE	혼합수집	혼합처리	이온교환기

2.2 방사성 폐액의 특성

액체폐기물 발생량의 대부분이 화학폐액이나 세탁폐액보다는 계통이나 기기 배수 및 바닥 배수이므로 이러한 계통폐액의 특성을 증발방식과 비교하였다. 수질측면에서 보면 이온교환 방식이 운영초기년도로서 전도도 나 총부유물농도에서 상당히 낮은 값을 나타내고 있으며 폐액의 방사능농도 측면에서는 총방사능농도 역시 상당히 낮은 값을 나타내고 있다. 폐액의 핵종을 검토해본 결과 증발방식에서는 핵분열생성물이 검출되었으나 이온교환방식에서는 전혀 검출되지 않았다. 이는 발전소 가동기간에 따라 좌우되므로 처리대상 폐액의 특성은 수 질적, 방사학적 측면에서 비슷하다고 판단된다.

표 2-2 액체방사성폐기물계통 처리방식별 폐액특성

구분	증발방식	이온교환방식
pH	6.81 ~ 7.2	6.4 ~ 6.8
전도도(μmho/cm)	209 ~ 515	29 ~ 63
TSS(ppm)	6.78 ~ 13.71	0.019 ~ 0.024
방사능농도(Bq/cc)	3.70E-01 ~ 3.70E+02	1.882E-02 ~ 1.744E+00
검출핵종	Cr-51, Mn-54, Co-58, Fe-59, Co-60, Zn-65, Co-57, Zr-95, Cs-137, I-131 등	Cr-51, Mn-54, Co-58, Fe-59, Co-60, Zn-65, Co-57, Zr-95 등

2.3 액체폐기물처리방법

2.3.1 액체폐기물 유입원

액체폐기물계통으로 유입되는 폐액은 주로 건물이나 바닥으로부터 누수되는 계통수로서 호기당 일일 약 1700겔런이 유입되며 이는 전체발생량의 66%를 차지한다. 나머지 화학폐액과 세탁폐액이 약 34%인 약 900겔런이 발생된다.

표 2-3 처리방식별 액체방사성폐기물 계통유입량

발생원	일일 예상발생량 (GPD/호기)		비고
	증발처리방식	이온교환방식	
고용존/저용존 고품물폐액			66%
-격납건물	530	540	
-보조건물	486	480	
-핵연료건물	700	700	
화학폐액			34 %
-화학실험실 배수	50	50	
-기기제염	350	350	
-세탁폐액	300	300	
-개인 샤워 폐액	200	200	
2차계통오염으로 인한 복수탈염기 재생폐액			일반적으로 바다로 방 출되며 오염준위가 제 한치이상시 액체폐기물 계통으로 재순환
-고용존고형물 폐액	18,000	20000	
-저용존고형물 폐액	54,000	20000	
-화학폐액	18,000	10000	

2.3.2 처리 방법

가압경수로형 원자력발전소에서 발생하는 폐액을 크게 나누면 계통폐액(고용존고형물 폐액 및 저용존고형물 폐액), 세탁폐액 및 화학폐액으로 분류할 수 있다. 계통폐액은 계통수 배수, 기기배수 및 바닥배수에 의해 생성되며 각 건물에 설치된 집수조를 통하여 수집된 후 액체폐기물계통으로 유입되어 처리된다.

- 저용존 고품물 폐액 처리 : 주로 기기배수나 건물배수로 모인 폐액으로서 용존 부유물이 낮은 폐액으로서 증발기(또는 이온교환기)를 우회하여 처리하고 불순물이 많이 포함되어있을 경우 증발기(또는 이온교환기)로 보내 처리된다.

- 고용존 고품물 폐액처리 : 핵연료건물이나 보조건물의 바닥 및 기기배수로부터 집수되며 불순물이 많이 포함되어있어 주로 증발기(또는 이온교환기)를 이용하여 처리된다. 증발기를 이용한 처리의 경우 전단 여과기에 의해서 일차적으로 부유물을 제거하고 기름분리기에서 기름을 제거한 다음 증발기에서 흡착/증발에 의해 정화되고 탈염기에서 이온제거 그리고 후단여과기에서 수지를 제거한 후 감시탱크에 모여지면 시료채취, 분석을 통해 환경으로 방출한다. 이온교환방식을 이용한 처리의 경우 1차적으로 원심분리기에서 0.1미크론이상의 부유

입자를 제거하고 난 후 이온교환기로 보내진다. 이온교환기에 유입된 물은 흡착탈염기에서 기름성분이 제거되고 세슘 이온교환기, 양이온, 음이온교환기를 지나면서 방사성핵종이 제거되고 마지막으로 혼상탈염기에서 방사성핵종을 제거하고 난 후 감시탱크에 모이면 시료 채취, 분석을 통해 환경으로 방출된다.

- 화학폐액 처리 : 화학실험실, 제염수 등이 화학폐수 집수탱크에 모이면 시료채취, 분석을 실시하고 필요시 산, 알칼리 또는 다른 화학약품을 첨가하여 증발기(또는 이온교환기)로 보내져 처리된후 감시탱크에 모인다.

- 세탁폐액 처리 : 관리구역작업용품을 세탁하고 난 폐수로서 증발방식의 경우 방사능농도가 높으면 증발기를 통하여 처리하고 기준미만이면 감시탱크로 보내진다. 이온교환방식의 경우 방사능분석결과 배출기준치를 초과할 경우에 화학폐액탱크로 유입되어 화학폐액과 함께 원심분리기, 이온교환설비를 통하여 방사능을 감소시켜 배출하며 배출기준치 미만일 경우 원심분리기 및 이온교환설비를 거치지않고 별도의 처리 없이 방출한다.

3. 액체폐기물 처리방식별 성능 비교분석

3.1 폐기물처리 성능 분석

3.1.1 방사성물질 소외방출

액체방사성폐기물계통을 통한 예상방출량을 보면 이온교환방식에서 약 10배정도의 방출량이 많은 것을 알 수 있는데 이는 증발기와 이온교환방식의 설계개념차이에 따른 것으로 보인다. 전체적으로는 증발기 처리방식과 이온교환방식을 비교해볼 때 0.435 Ci/yr, 0.523 Ci/yr이며 이온교환방식이 약 20%정도 많이 방출되도록 설계되었음을 알 수 있다.

표 3-1 액체방출물내 방사성핵종의 예상방출량(1개호기 기준, Ci)

구분	봉산회수	액체방사성 폐기물계통	2차계통	터빈건물	계	보정된 방출량 (Ci/yr)
증발방식	3.04E-03	1.98E-02	2.51E-01	9.10E-04	2.75E-01	4.35E-01
이온교환방식	2.73E-03	1.15E-01	2.44E-01	8.99E-04	3.64E-01	5.23E-01

설계 예상방출량과 비교하여 실제로 액체폐기물처리방식에 따라 방출된 액체폐기물의 방출 방사능량을 알아보기 위해 2002 년도를 기준으로 하여 평가해보았다.

증발방식의 경우 상업운전이후 8년째 가동중인 발전소로서 액체폐기물계통으로 유입되는 폐액의 방사능농도가 이온교환방식의 액체폐기물처리계통이 최초 운전년도임을 고려할 때 상당히 높을 수밖에 없다. 이런 차이 하에서도 증발방식과 이온교환방식의 방출방사능량을 보면 <표 3-2>에서와 같이 0.473 mCi, 1.098 mCi로서 이온교환방식을 통한 액체폐기물 처리방식에서 약 2.2배 정도 높게 나타났음을 알 수 있다.

표 3-2 액체폐기물방출에 따른 방출 방사능량 및 방출액체량 비교

구분	증발방식		이온교환방식	
	방사능량(Bq)	액체량(m^3)	방사능량(Bq)	액체량(m^3)
1월	1.326E+06	430	1.66E+05	24,121
2월	LLD미만	419	3.89E+05	1,316
3월	1.190E+06	1223	3.13E+04	21,380
4월	3.005E+05	594	3.52E+06	12,288
5월	2.739E+05	836	3.00E+07	22,802
6월	3.491E+06	1020	8.90E+05	8,926
7월	3.056E+05	1661	1.83E+06	25,913
8월	5.521E+06	2189	1.26E+06	30,859
9월	5.366E+05	1338	1.26E+06	122,545
10월	4.585E+06	1400	1.28E+06	4,769
합계	1.75E+07 (0.473 mCi)	11,110	4.06E+07 (1.098 mCi)	274,919

* 기준년도 : 2002년

3.1.2 주변주민의 방사선피폭선량

정상운전시 설계측면에서 액체방출물에 의한 주변주민의 최대개인선량을 보면 <표 3-3>에서 알 수 있듯이 증발방식에서는 전신에 대해 연간 $4.66E-05$ mSv이고 이온교환방식의 경우 $2.10E-04$ mSv로서 증발방식에 비해 높게 나타났다. 또한 최대장기선량을 보면 증발방식과 이온교환방식이 각각 연간 $1.01E-03$ mSv, $1.33E-02$ mSv로서 이온교환방식이 전신의 경우보다도 훨씬 높은 값을 보이고 있다. 이는 최종 배출구에서 처리된 폐액의 방사능도가 증발방식이 이온교환방식보다 10배 이상 높은 처리성능을 보이는 차이 때문으로 보인다.

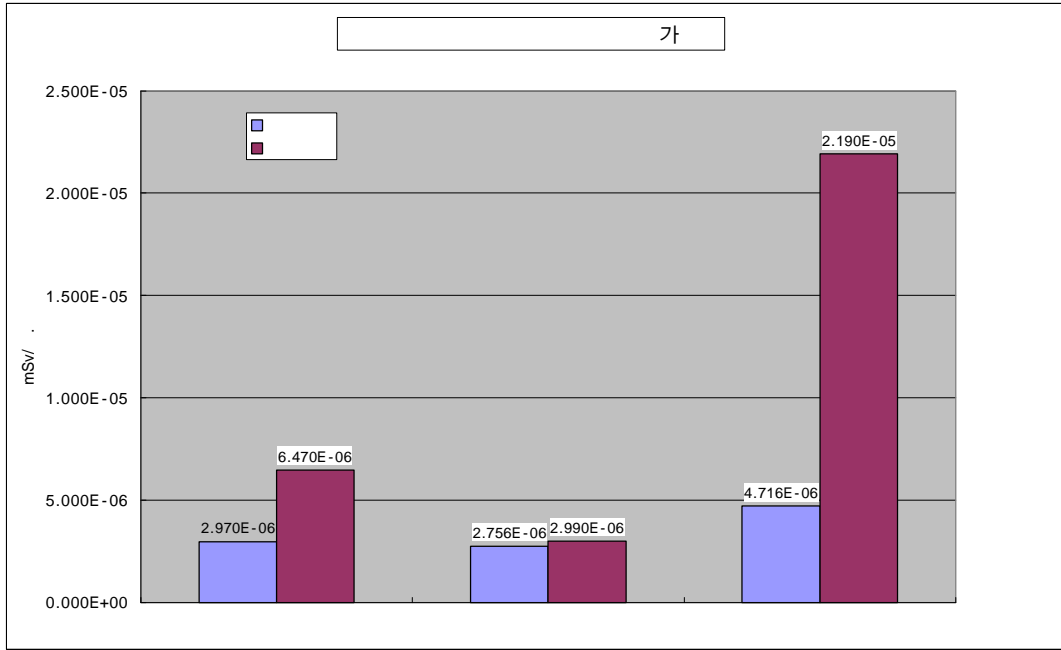
표 3-3 정상운전시 액체방출물에 의한 주변주민의 최대개인선량

구분	증발방식	이온교환방식	10 CFR 50	비고 (증발방식:이온교환방식)
전신 (mSv/yr)	$4.66E-05$	$2.10E-04$	$3.0E-02$	1 : 4.51
최대장기선량 (mSv/hr)	$1.01E-03$	$1.33E-02$	$1.0E-01$	1 : 13.2

증발방식과 이온교환방식에서 방출된 방출 방사능량을 이용하여 실제 주변주민선량을 평가해보았다. 액체방출물에 인한 선량계산 코드는 LIQDOS를 사용하였으며 주요 방사능피폭 경로는 수산물의 섭취에 의한 내부피폭과 해변에 축적된 방사성물질로부터의 외부피폭, 수영 및 해상활동에 의한 외부피폭으로 구분되며 발전소를 중심으로 반경 80km이내에 거주하는 주민이 받는 대중 집적선량과 최대 개인 피폭선량을 계산하였다. 그래프 3-1에서와 같이 유효선량, 갑상선 및 최대장기선량을 보면 증발방식이 $2.97E-06$ mSv, $2.756E-06$ mSv, $4.716E-06$ mSv인데 비해 이온교환방식은 $6.47E-06$ mSv, $2.99E-06$ mSv, $2.19E-05$

mSv로 이온교환방식이 상업운전 초기 년도임에도 증발방식보다 높게 나타났다. 그러나 이온교환방식이 운전기간도 짧고 대상 데이터수도 부족하여 위에서 수행한 주민선량평가결과가 액체폐기물 처리방식에 따른 차이라고 단정하기에는 한계가 있으므로 추가적인 비교검토가 필요하다.

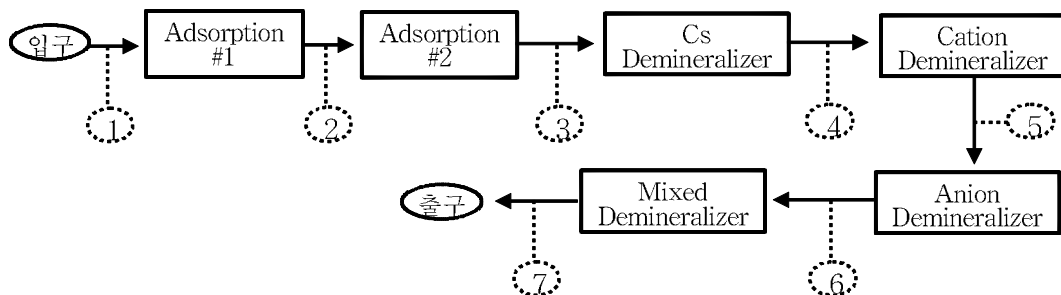
그래프 3-1 액체방출물에 의한 장기별 주변주민피폭선량 계산결과(2002년도)



3.2 제염계수

3.2.1 이온교환방식

아래와 같이 이온교환수지 입구와 출구, 각 탈염기 후단 등 총 7개소를 선정하여 시료를 채취하여 핵종분석을 실시한 결과 검출된 핵종은 Cr-51, Mn-54, Co-58, Fe-59, C0-60, Zn-65, Co-57, Zr-95 등 원자로 냉각재내 방사성부식생성물 들어있으며 핵분열성 생성물은 전혀 검출되지 않았다. 제염계수 산출을 위해 선택적 이온교환설비의 처리전 폐액농도와 처리후 폐액농도를 <표 3-4>에 나타내었으며 13회에 걸친 시료분석결과 제염계수는 3에서 230까지 다양한 결과를 얻었다.



<그림 3-1 선택적이온교환설비 시료채취 지점>

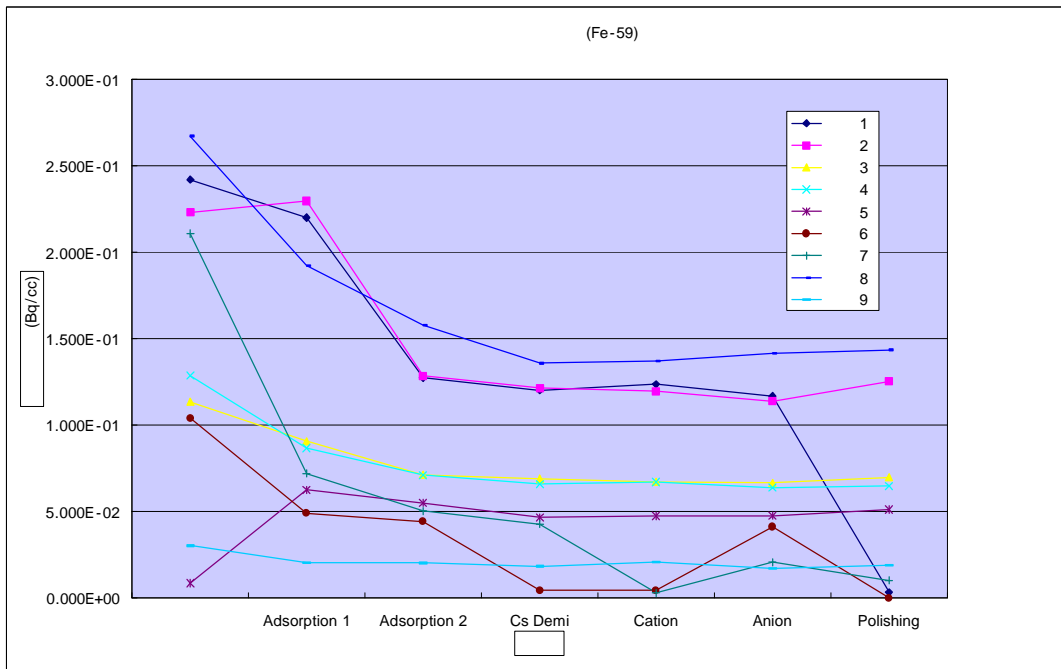
표 3-4 선택적이온교환설비 제염계수

구분	방사능농도(Bq/cc)		제염계수	비고
	처리전 폐액	처리후 폐액		
시료 1	3.737E+00	1.692E-02	221	
시료 2	3.737E+00	1.868E-01	20	
시료 3	2.782E-01	9.764E-02	3	
시료 4	9.981E-01	8.596E-02	12	
시료 5	3.737E+00	6.755E-02	55	
시료 6	3.402E-01	1.709E-02	20	
시료 7	5.612E+00	9.066E-02	62	
시료 8	6.094E+00	2.649E-02	230	
시료 9	3.106E+00	3.018E-01	10	
시료 10	7.583E-01	9.415E-03	81	
시료 11	1.896E+00	3.190E-02	59	
시료 12	3.090E+00	4.889E-02	63	
시료 13	2.046E+00	9.415E-03	217	

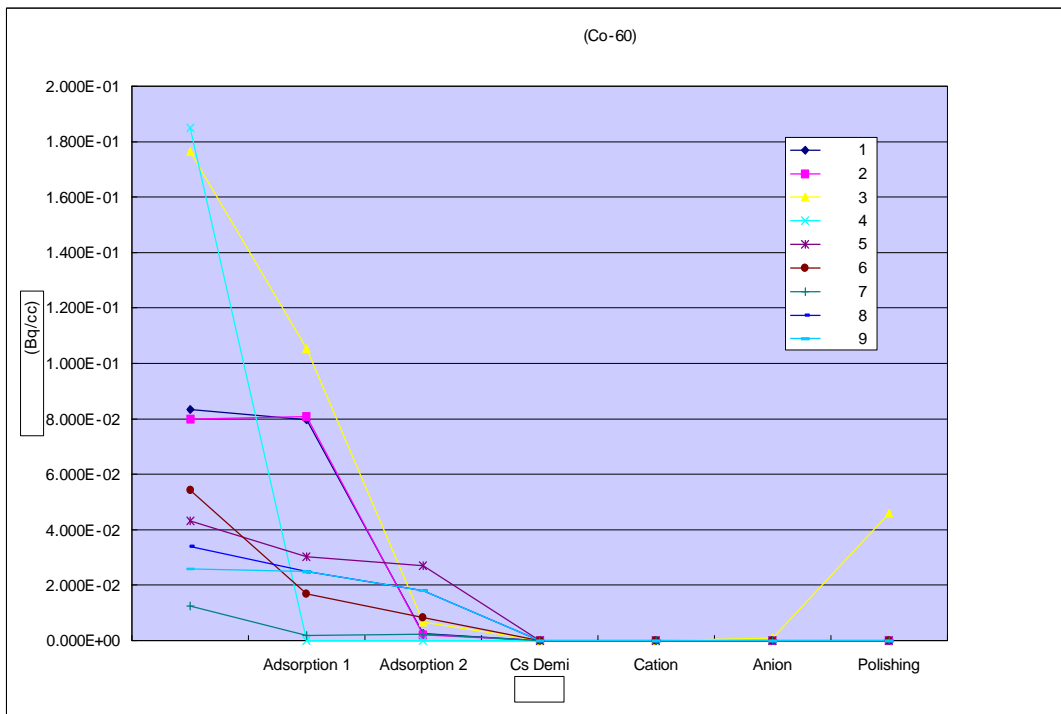
선택적이온교환설비의 제염성능분석결과를 보면 대부분의 방사능농도가 직렬로 연결된 2개의 흡착탈염기를 거치면서 제거되었다. 흡착탈염기는 활성탄이 충전된 것으로 주목적이 기름 등의 유분이 수지입자를 완전히 둘러싸서 이온교환능력을 급격히 저하시키는 것을 방지하고 이온교환수지를 보호하기 위해 설치되었으나 방사능제거능력도 우수한 것으로 판단된다. 흡착탈염기에서 처리된 폐액은 세습이온교환기를 통과하면서 대부분 설계기준농도이하로 감소되었으며 양이온교환수지, 음이온교환수지, 혼상탈염기에서는 전단에서 대부분 처리됨에 따라 방사능농도가 매우 낮아져 방사능제거효과가 나타나지 않았다. 탈염기별로 핵종들의 제거효과를 <그래프 3-2>에서 <그래프 3-7>에 나타내었다. 크롬이온의 경우 흡착탈염기를 통과하면서 대부분 제거되나 세습이온교환기, 양이온수지, 음이온수지, 혼상탈염기를 거치면서는 방사능제거효과가 거의 없음을 알 수 있다. 입구측농도가 높은 시료-8의 경우 흡착탈염기에서 약간 제거된 후 더 이상 방사능이 제거되지 않고 일정수준을 유지하고 있고 나머지 시료에서도 비슷한 추이를 나타내고 있음을 알 수 있다. Mn-54의 경우 <그래프 3-4>에서와 같이 입구측시료의 농도가 높거나 낮음에 관계없이 흡착탈염기에서 대부분 제거되었으며 세습이온교환기를 통과한 후에는 검출하한치 이하로 감소되어 제거능력이 우수함을 알 수 있다. Co-58의 경우 <그래프 3-5>에 나타난 것처럼 Mn-54와 거의 비슷한 성능을 유지한다. Fe-59 핵종은 <그래프 3-6>에서처럼 앞에서 살펴본 핵종들과는 전혀 다른 특성을 나타낸다. Fe-59핵종을 제거하는데 특별히 우수한 성능을 나타내는 이온교환수지가 없으며 모든 수지가 비슷한 제거능력을 보이고 있으며 이온교환설비후단에서도 입구측 농도와 비교하여 크게 낮아지지 않음을 알 수 있다. 성능시험을 위해 액체폐기물계통에서 채취한 모든 시료중에 Fe-59 핵종이 검출되었는데 이온교환설비에서 어떻게 효과적으로 제거할수 있는지 좀더 검토가 필요하겠다. Co-60의 경우 <그래프 3-7>에서처럼 세습이온 교환수지를 통과하면서 대부분 검출하한치 이하로 제거되었다.

방사화 부식생성물에 대한 핵종별 제거능력을 살펴본 결과 Fe-59는 특별히 우수한 제거

그래프 3-6 탈염기별 핵종 방사능농도 제거추이(Fe-59)



그래프 3-7 탈염기별 핵종 방사능농도 제거추이(Co-60)



3.2.2 증발처리방식

시료채취는 증발기전단의 증발기공급탱크와 증발기후단의 증발수를 채취하여 분석한 값이며 검출된 핵종은 Cr-51, Mn-54, Co-58, Fe-59, C0-60, Zn-65, Co-57, Zr-95 등 부식 생성물과 Cs-137, I-131 등 핵분열성 생성물 등이 골고루 검출되었다. 운전년수 증가에 따라 이온교환방식에서 검출되지않은 핵분열성 생성물이 다량 검출되었다.

처리전폐액의 농도가 대부분 1E+00 Bq/cc에서 1E+03 Bq/cc로 상당히 높으나 증발기후단에서는 검출하한치 미만으로 대부분 감소되었다. 제염계수를 보면 대부분이 LLD미만으로 산출이 불가능한데 이는 증발기를 통과한 경우 폐액내에 포함된 다량의 방사능물질이 완전히 제거되었음을 의미하며 제염성능이 떨어지는 경우도 제염계수가 최소 384로서 증발기를 이용한 방식이 고오염 폐액처리에 적합한 방식임을 알 수 있다.

선택적 이온교환방식의 제염성능과 비교함에 있어 폐액의 농도차이, 분석장비, 분석자 등에 따른 오차요인은 있으나 증발기를 통한 폐액처리방식이 월등히 우수하다는 것을 알 수 있다.

표 3-5 증발처리방식의 제염성능 분석결과

구분	방사능농도(Bq/cc)		제염계수	비고
	처리전폐액	처리후 폐액		
시료 1	1.57E+01	LLD미만	-	
시료 2	4.62E+01	LLD미만	-	
시료 3	3.31E+01	8.62E-02	384	
시료 4	2.35E+01	3.45E-02	681	
시료 5	2.09E+02	2.49E-03	83936	
시료 6	2.26E+02	LLD미만	-	
시료 7	2.35E+02	LLD미만	-	
시료 8	7.77E+00	LLD미만	-	
시료 9	1.291E+03	5.674E-02	22753	
시료 10	8.019E+01	LLD미만	-	

3.4 폐기물 발생량

증발기와 이온교환설비를 이용한 폐액처리시 특징적으로 발생하는 폐기물은 농축폐액과 슬러지로 구별할수 있으며 폐수지와 폐필터는 두 처리방식에서 모두 발생된다. 이러한 폐기물의 발생량은 이온교환방식의 경우 운전초기로 발생실적이 없어 설계측면에서 검토한 결과를 <표 3-6>에 나타내었다.

이온교환방식의 경우 폐수지, 슬러지, 폐필터가 총 33.866 m³ 발생되며 증발기 방식의 경

우 폐수지, 농축폐액, 폐필터가 총 48.30 m³이 발생되었다.

이를 드럼으로 환산하면 각각 163드럼과 232드럼으로 이온교환방식과 비교하여 증발기방식이 약 42% 많이 발생된다는 것을 알 수 있다.

미국내 가압경수로형 원전에서 증발처리방식을 사용하다가 설비개선을 통하여 선택성이온교환설비를 채택한 발전소의 채택전/후 폐기물 발생량을 보면 <표 3-7>에서와 같이 이온교환설비를 사용함에 따른 차이를 확연하게 알 수 있으며 우리나라도 실제 운전년수가 경과된 이후 운영실적을 토대로 검토를 해보면 폐기물량은 더 감소될 것으로 판단된다.

표 3-6 액체폐기물처리방식별 폐기물발생량

구분	폐수지 (m ³)	농축폐액 (m ³)	슬러지 (m ³)	폐필터 (m ³)	합계 (m ³)
이온교환설비 방식	5.096	-	8.49	20.28(주1)	33.866
증발기 방식	11.10	12.5(주2)	-	24.70	48.30

주1) 이온교환설비 방식은 액체폐기물처리계통에서 여과기를 사용하지 않으므로 증발기방식을 기준으로 전체여과기의 82%가 1차계통에서 발생한 것으로 가정.

주2) 농축폐액의 경우 CE형 원전의 실적자료를 이용하여 산출.

표 3-7 미국내 원전별 선택성이온교환설비 채택 전·후 폐기물발생량

원 전	습식 고체방사성폐기물 발생량 (m ³)		비 고
	이온교환설비 채택전	이온교환설비 채택후	
Callaway 원전	24.78	15.6	
Millstone 2호기	85	15.28	
Salem 1&2호기	360	5.84	
Sequoyah 1&2호기	89.3	19.8	

4. 결론 및 향후계획

이온교환방식과 증발방식에 대해 액체 방사성폐기물 처리시 발생하는 방사성물질의 소의 방출량, 방사선피폭선량, 제염계수, 방사성폐기물 발생량 측면을 검토해보았다.

액체방출물에 의해 방출되는 방사성핵종의 연간 방출량은 증발방식과 이온교환방식에서 각각 0.435 Ci, 0.523 Ci로서 이온교환방식에서 20 %정도 높게 설계되었으며 실제 방출량을 평가해본 결과도 이온교환방식이 증발방식보다 2.32배 높게 나타났다.

액체방출물로 인한 주변주민의 방사선피폭량도 설계값과 비슷한 추세로 이온교환방식에서 연간 2.97E-06 mSv 대비 6.47E-06 mSv로서 높게 평가되었다.

제염계수는 이온교환방식에서 최소 3에서 230까지 평가되었으나 증발방식의 경우 대부분 검출하한치(LLD)미만으로 나타나 이온교환방식보다 월등히 우수함을 알 수 있었다. 그러나

이온교환방식의 측정조건이 발전소 가동초기로 폐액의 방사능농도가 너무 낮아 좀더 운전기간이 지나고 폐액의 농도가 설계농도와 비슷할 경우 재 측정하여 제염성능을 비교해야 할 것으로 판단된다.

구분		증발방식	이온교환방식	증발방식 : 이온교환방식	비고
방사성 물질 방출량	설계값	0.435 Ci/년	0.523 Ci/년	1 : 1.2	
	평가 결과	0.473 mCi/10월	1.098 mCi/10월	1 : 2.32	
주변주민 방사선 피폭선량 (전신)	설계값	4.66E-05 mSv/yr	2.10E-04 mSv/yr	1 : 4.5	
	평가 결과	2.97E-06 mSv/yr	6.47E-06 mSv/yr	1 : 2.3	유효선량
제염계수		384 ~ 84000	3 ~ 230	128~365 : 1	
폐기물발생량		48.30 m ³ (232드럼)	33.866 m ³ (163드럼)	1.4 : 1	

액체폐기물처리계통에서의 폐기물 발생량은 이온교환방식의 발생실적이 없어 설계측면에서만 검토해본 결과 증발방식과 이온교환방식에서 각각 48.30 m³, 33.866 m³으로 200리터 폐기물드럼으로 환산해보면 연간 232드럼, 163 드럼으로 증발방식에서 약 42% 더 많이 발생하는 것으로 나타났다.

액체폐기물처리방식별 주요 특성을 살펴본 결과 방사성물질의 소외방출량, 주변주민의 피폭선량, 제염계수 측면에서 증발방식을 사용한 처리 공정이 설계나 운전실적측면에서 뛰어난 성능을 보였고 폐기물 발생량은 실적이 없어 설계측면만을 검토해본 결과 이온교환방식이 낮게 발생하는 것으로 예상되었다.

이온교환방식의 경우 운전/보수로 인한 종사자피폭선량 과 폐기물발생량 실적이 없었고 폐액의 농도가 낮아 제염계수 부정확 및 짧은 운영기간으로 인한 분석대상 data 부족 등으로 액체폐기물처리방식별 성능 비교/분석에 다소 미흡한 면이 있으며 향후 실적이 충분히 발생되면 종합적인 추가분석이 필요할 것으로 보인다.

참고 문헌

1. "무기이온교환수지를 이용한 방사성폐액 처리공정 개발",1996, KEPRI
2. 영광 5,6호기 선택성이온교환설비 성능입증 종합보고서,1999, KEPCO
3. 영광 5,6호기 최종안전성분석보고서 11장 "방사성폐기물 관리"
4. ANSI/ANS-55.6 "Liquid Radioactive Waste Processing System For Light Water Reactor Plants"-1993
5. ANSI/ANS-40.37 "Mobile Radioactive Waste Processing System"-1993

6. NUREG-0017(Rev. 1) "Calculation of release of radioactive materials in gaseous and liquid effluents from PWR"
7. 한국원자력학회-핵화학공학(1990)
8. 영광 3,4호기 최종안전성분석보고서 11장 "방사성폐기물 관리"
9. 부지개념에 입각한 원자력발전소 방사성폐기물 처리설비연구-1994, 조선대학교
부설 원자력연구소
10. 원자력발전소 방사선관리 연보-2001, 한국수력원자력(주)
11. 방사성폐기물 처리 및 안전성 연구-1990, 한국원자력학회
12. 주민 피폭선량 계산 보고서(2002년도 1,2,3분기)