방사성폐기물 처리기술

"미래 技術 개발연구 절실"

박 헌 휘
〈한국에너지연구소방사성폐기물 관리부장〉

폐기물의 성질 및 발생량

폐기물의 성질

방사성 폐기물이란 방사성핵종으로 오염되어 있어 처리 또는 계속적인 감시가 필요한 기체, 액체, 고체상태의 폐기물을 말한다. 방사성 폐기물의 특성은 방사성핵종의 반감기를 인공적으로 바꾸지 못하며 과량의 방사선은 신체적 장해와 유전적 장해를 유발하여 일정기간 관리가 필요하다. 각 핵종마다는 고유의 최대허용농도(MPC) 값을 가진다.

• 발생량

국내 원자력발전소의 방사성 폐기물 발생량에 대하여 1987년도에 발생된 유형별 발생량과 1987년까지 누적된 양을 〈표-1〉에 나타내었다. 〈표-1〉에서 1987년도 연간 총 발생량에 대하여 유형별로는 잡고체, 농축폐액, 폐수지, 폐필터의 순으로 잡고체 폐기물의 발생량이 가장 많음을 알 수 있다.

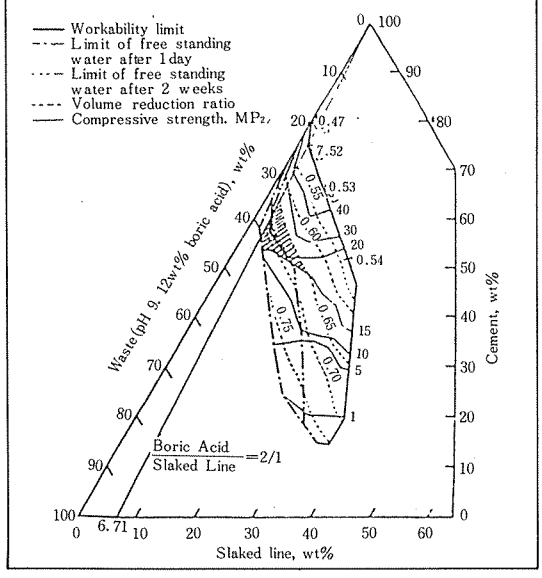
처리기술의 분류

원자력 발전소에서 발생되는 방사성폐기물은 기체, 액체 및 고체폐기물로 분류되며 처리기술은 발생되는 폐기물에 의해 분류된다. 기체폐기물은 방사성 가스와 액상 또는 고상의 미립자가 공기중에 분산된 방사성 에어로졸의 두가지 유형으로 구분할 수 있다. 방사성 가스는 화학적 성질에 따라 적정 흡착제 또는 세정제를 사용하여 포집 제거하거나 물리적 성질을 이용하여 감쇄 설비에서 일정 시간동안 방사능이 붕괴된후 대기로 방출한다. 방사성 에어로졸은 적정 소재에 포집하여 액상 혹은 고상으로 변환시켜 처리한다.

액체폐기물은 농축법 또는 희석법으로 처리한다. 농축법에는 여과법, 이온 교환법, 증발법, 활성탄 처리법, 응집 침전법, 생물학적 처리법 등이 있으며 원자력발전소에서 주로 채택하고 있는 방법은 여과법, 이온교환법, 증발법이다. 희석법은 물로서 방사능농도가 일정 농도 이하가 되도록 희석처리하는 방법이다.

고체폐기물은 방사성 기체/액체 처리공정의 부산물로 생성된 폐필터, 폐수지, 폐농축액 고화체와 원자력 발전소의 정상운전, 제염 및 보수작업시 발생되는 종이, 플라스틱, 직물류, 금속류 등이 있다. 처리방법은 소각, 압축 등의 감용처리공정을 거쳐 시멘트, 아스팔트 등으로 고화처리한다.

〈그림-1〉 작업도 및 유리수 발생한계와 압축강도, 감용비에 대한 삼상도표 (붕산농도 12wt%, pH9)



연구중인 처리기술의 내용

• 농축폐액의 고화연구

발전소에서 발생되는 방사성 액체폐기물은 증발. 이온교환 등의 방법으로 전처리한 후 여러가지 고화매질로 고화하여 처리하게 된다. 고화처리된 폐기물은 물리적·화학적·방사선적으로 안정해서 취급, 임시저장, 수송 및 처분 등에 안전성이 확보되어야 할 뿐 아니라 폐기물의 부피를 줄이는 감용효과도 커야 한다.

가압 경수로에서 발생되는 방사성 액체 폐기물의 대부분이 붕산을 함유하고 있고 붕산 폐액은 증발 농축한후 시멘트고화하고 있다. 발전소에서는 붕산농도 12wt% 정도로 농축한 후 붕산의 시멘트고화 억제를 방지하기 위하여 첨가제로 소석회나 규산소다를 이용하여 시멘트로 고화하고 있다. 당 연구소에서는 건전한 고화체를 얻을 수 있는 조업조건을 구하기 위하여 첨가제로 소석회를 사용하여 12wt%의 붕산농축액(PH=9)의 시멘트고화 시험을 실시하고 압축강도와 감용비를 고려한 적정조업 범위를 도출하였고 이들 고화체에 대한 침출특성도 살펴보았다. 〈그림-1 참조〉

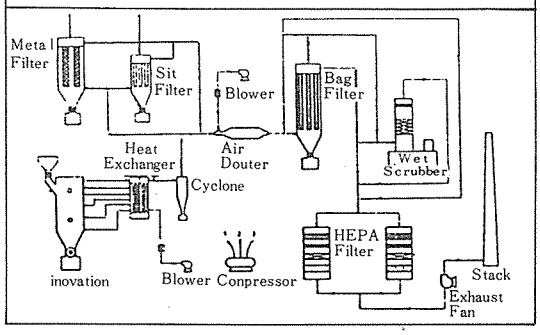
그리고 경제적인 면에서 감용효과를 높일 수 있는 고농축 붕산폐액(붕산 24wt%, PH = 9)에 대해서도 소석회를 첨가제로 하여 고화실험을 하였으며 적정 조업범위를 도출하였다. 소석회 이외의 첨가제로서 무수규산을 사용하여 붕산폐액의 시멘트 고화실험도 실시하여 건전한 고화체를 얻을 수 있는 적정범위를 도출하였다.

플라스틱 고화체는 시멘트 고화체보다 감용효과가 높고 기계적강도, 내침출성 등이 우수하다. 이에대한 연구로서 실험실적 규모의 플라스틱 고화장치를 설치중에 있다. 이 실험장치를 이용하여 붕산폐액을 소석회와 반응시켜 건조시킨 후 플라스틱고화하는 실험이 진행될 것이다.

〈표-1〉 방사성 폐기물 발생량 (단위 : 200리터 드럼)

구 분	호 기 별	고리			월성	영광	계
		1호기	2호기	3,4호기	1호기	1,2호기	
비가연성	농축폐액	512	98	840	-	161	1,611
	폐수지	28	178	-	52	-	258
	폐필터	13	8	19	-	5	45
	잡고체	61	51	89	8	24	233
	소계	614	335	948	60	190	2,147
가연성	잡고체	242	205	357	32	95	931
합계		856	540	1,305	92	285	3,078
1987년말 누적량		9,720	2,268	1,953	717	340	14,998

〈그림－2〉 실험용 소각공정의 흐름도



• 소각연구

원자력발전소에서 발생하는 가연성 방사성폐기물은 총 발생폐기물의 35% 이상을 차지하므로 이들을 소각처리 할 경우 감용효과에 의한 처분능력 증대와 비반응성 물질로의 전환에 의한 안전성확보의 장점을 갖게 된다.

1990년대 중반까지 국내기술로써 방사성폐기물 소각설비의 실용화를 완료한다는 목표로 외국의 상용소각로 및 배기체 처리공정에 대한 타당성 조사를 통해 국내의 방사성폐기물 소각에 적합한 공정을 선택하였으며, 국내의 일반/산업용 폐기물 소각공정 및 제작업체의 현황파악을 완료하였다. 또한 국내에 축적된 일반 소각로 기술이 가연성 방사성폐기물 소각로 개발에 이용될 수 있는가의 가능성을 검토하여 이에 따른 문제점과 해결방안의 제시를 통해 소각기술 확보와 단계별상용소각공정의 국산화 계획을 추진중에 있다.

이러한 계획에 의거 본 연구소내에 〈그림－2〉와 같은 계통흐름도를 갖는 실험용 소각공정을 1987년도에 설치 완료하였다. 이러한 실험용 소각공정은 플라스틱 기준으로 5 kg/hr의 용량을 가진 원통형 단일 소각로와 다양한 배기체 처리계통으로 구성되어 있다.

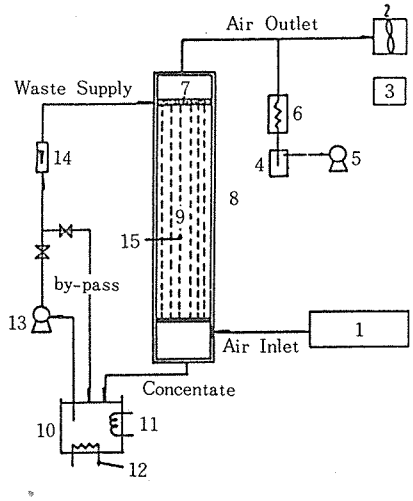
1988년부터 진행된 소각실험은 공정의 운전성을 확인 및 배기가스 제진설비의 성능을 확인하기 위하여 단일조성 및 혼합물질의 비방사성 폐기물에 대한 소각 특성실험, 비산재 및 기체 발생실험 및 배기체 처리계통의 제진성능 실험을 수행 중이다. 지금까지 진행된 실험결과 설계 기준용량을 만족하였으며, 공정의 운전성도 양호하였고 종이및 polyethylene 모의 폐기물의 경우 20～60배의 감용효과가 있었으며 소각로의 연소효율도 98% 정도로 우수하였다.

• 자연증발연구

방사성 폐액 처리시설로 부터 최종적으로 발생되는 극저준위 폐액은 3.7 kBq/cc 미만으로 희석하여 강에 방류할 수도 있으나 강물이 식수원으로도 사용될 수 있어 더 확실한 안전장치로써 방사성 폐액 무방출 개념을 도입하였다. 먼저 태양열에 의한 자연증발을 연구하였으나 소요 면적이 넓어, 처리시설 면적이 작은 바람에 의한 증발개념을 정립하게 되었다. 증발면적을 넓히기 위하여 천을 사용한 방식의 기본 및 상세 설계가 1987년 7월에 완료되었으며, 이어 1987년 12월에 연간 2,500톤의 처리능력을 갖는 시설의 건설이 착수되어 1988년에 준공되었다.

본 시설은 크게 폐액 수송설비, 예비 저장조,

〈그림－3〉 실험용 자연증발공정의 흐름도



1. Weathrometer
2. Exhaust Fan
3. Frequency/Voltage Controller
4. Sampler
5. Vaccum Pump
6. Heat Exchanger
7. Waste Distributor
8. Evaporator boby
9. Clothes
10. Waste Storage Tank
11. Cooling Coil
12. Heater
13. Supply Pump
14. Rotameter
15. Temp./Humidity Hydrometer Probe

중간 저장조, 증발기 송풍설비 등으로 구성되어 있으며, 환경 안전성을 고려하여 건물주위에 유공관을 매설, 지하수에 대한 감시를 하게되며, 또한 배출공기의 감시를 위한 감지설비가 갖추어져 있다. 증발기 내의 천은 수직으로 걸리게 되며, 상부로 부터 폐액이 천을 따라 흘러내리고 하부로 부터 공기가 향류로 흐르면서 물이 증발하게 된다. 폐액의 농축도는 약 100으로 예정하고 있으며, 이때 얻어지는 농축액은 다시 방사성폐기물 처리시설로 순환된다.

또한 본 시설의 증발량 성능확인을 위하여 증발표면적이 35 ㎡인 실험실 규모의 장치 〈그림—3참조〉를 설치하여 실험한 결과 풍속 3m/s에서 약 0.04 L / ㎡.hr.hpa로 건설된 증발시설의 설계기준에 요구되는 2,500 Ton / yr의 처리는 충분히 가능한 것으로 나타났다. 그리고 1989년도에는 실제 극저준위 폐액처리를 통해 보완사항 및 개선점 등을 연구 검토하여 차후 증설시 반영할 예정으로 있다.

연구해야 할 분야

방사성 폐기물의 감용을 극대화하는 본질적인 처리방법으로서 핵종분리와 소멸처리가 주로 고준위 폐기물을 중심으로 외국에서 연구되고 있다. 핵종분리기술이란 플루토늄과 아메리슘 등 반감기가 매우 긴 초우라늄 원소군, 고열을 내는 스트론튬, 세슘군, 테크네튬, 백금 등의 희귀원소군, 기타 원소군의 네가지 원소군으로 폐기물중의 방사성핵종을 분리하여 스트론튬, 세슘군을 고화처리하거나 농, 공업용 방사선원으로 사용하고 희귀원소군은 회수하여 촉매나 전극의 재료로 사용하며 기타 원소군은 고화하여 초우라늄원소군은 소멸처리기술에 의하여 안정된 원소 또는 단반감기 원소군으로 전환될 수 있어 우리도 미래의 연구로서 중저준위 폐기물에 대해서 까지 고려하여 연구대상으로 하고 있다.

• 핵종분리기술

핵연료 재처리시설에서 발생되는 고준위 방사성폐기물을 관리하는 방법중에 하나로 고준위 액체폐기물에서 장반감기 초우라늄 동위원소와 Sr-90, Cs-137과 같은 열을 방출하는 동위원소를 분리한 다음 핵분열 과정을 거쳐 단반감기 동위원소 및 안정된 원소로 변화시키고 Sr-90, Cs-137을 무기물과 같은 안정된 화합물내에 고정화하는 핵종분리기술이 개발되고 있다. 화학처리에 의하여 고준위폐기물에서 초우라늄원소군과 스트론튬 및 세슘군을 99.9% 이상 분리할 수 있다. 티탄산과 제올라이트로 이루어진 무기이온교환수지를 사용하여 Sr-90과 Cs-137을 분리하게 되는데, 이때 수용성 이차폐기물도 동시에 발생되게 된다. 따라서 이 이온교환수지에 흡착된 Sr-90과 Cs-137를 안정화하여 저장 및 처분에 적합한 최종 생성물을 얻기 위한 연구와 더불어 분리된후의 세가지 핵종그룹, 즉 초우라늄원소군, 스트론 및 세슘군, 기타 핵분열 생성물 그룹의 각각에 대해서 그 양, 발생열, 고화된 후의 부피 및 방사성 위험을 분석함으로써 이 핵종분리 기술에 대한 타당성을 파악한다.

• 소멸처리기술

핵종분리공정을 통하여 반감기가 극도로 긴 플루투늄이나 아메리슘과 같은 초우라늄 원소를 소멸처리하여 방사성 물질이 아닌 원소나 반감기가 짧은 원소로 변화시키는 방법이다. 악티늄원소는 적절한 시스템내에서 중성자와의 충돌에 의하여 안정된 원소나 단반감기의 핵종으로 바뀌게 된다. 이러한 처리기술을 소멸처리라 하는데 중성자 경제의 관점에서 이 악티늄원소의 재순환은 대부분의 악티늄계 동위원소들이 고에너지계에서 반응하는 핵분열 단면적을 갖고 있기 때문에 원자로로는 고속증식로를 사용하는 것이 가능하며, 그밖에 가속기 등을 사용하여 원자를 파괴해 버리는 방법도 제안되고 있다. 이러한 소멸처리기술연구를 평가하기 위하여 악티늄핵종에 대한 핵분열 데이타를 얻기 위해 이 악티늄핵종들의 측정을 통한 이들의 중성자 단면적의 평가 및 수정연구 및 폐악티늄 핵종들의 분리연구가 있다.