

방사성 폐액중의 붕소와 나트륨의 몰비 변화에 따른
농축폐액건조설비 운전 경험사례

The Operation Experience of the Concentrated Waste Drying System
with Variation in the Mole Ratio of Boron to Sodium

김영식, 김세태, 안교수, 박진석
¹⁾박종길
한국수력원자력(주), ¹⁾현대원자력(주)

요 약

원자력발전소에서 발생하는 방사성 폐액은 일반적으로 액체폐기물처리계통 폐액증발기 및 농축 폐액건조설비에서 증발 및 건조 공정을 통해 수분을 함유하지 않은 분말형태로 변한다. 이 분말 형태의 폐기물은, 취급 시와 처분 후 안전성을 확보할 수 있도록, 파라핀과 균일하게 혼합되어 고화된 후 첼제드럼에 포장된다. 농축폐액건조설비를 이용하여 농축폐액을 건조시킨 후 분말 형태의 폐기물을 파라핀과 혼합하는 공정을 수행할 때, 방사성 폐액 중 붕소와 나트륨의 몰비가 0.2를 초과하는 경우, 분말형태의 폐기물이 파라핀과 균일하게 혼합되지 않고 층을 이루어 분리되어 드럼에 안정고화가 잘 안되는 경우가 발생하였고 또한 일부는 드럼화 전에 설비 내에 고착되는 현상이 발생하는 것을 경험하였다.

Abstract

Generally, liquid radioactive wastes generated in nuclear power plant exist in powder form which do not contain moisture through the evaporating process of the Liquid Waste Management System and drying process of the Concentrated Waste Drying System. This powder form wastes are blended homogeneously with paraffin solidification agent and packed in metal drum to ensure its stability during handling and disposal. However, it was experienced that the powder form wastes were not blended homogeneously and separated into two layers in metal drum, on the other hand, a Portion of powder was adhered and solidified to the Inside parts of facility during the blending process. And the flaw of blending process above would come in case the mole ratio of Boron to Sodium in liquid radioactive wastes exceeds 0.2.

1.0 서 론

농축폐액건조설비는 울진 1,2호기에서 미국 VECTRA 사 로부터 1995년 도입하여 운영하고 있다. 운영목적은 과거 콘크리트 고화 방식에서 파라핀 고화 방식으로 변경함으로써 폐기물 처리 작업 시 효율성을 높이고 폐기물 발생량을 약 88% 감용 하는데 있으며 이로 인하여 현재 각 원전 본부별로 임시 저장하고 있는 임시 저장고의 저장기간을 연장하는데 기여하고 있다. 한편, 농축폐액건조설비 운전기간 동안 설비를 이용하여 농축폐액을 건조시킨 후 분말 형태의 폐기물을 파라핀과 혼합하는 공정을 수행할 때, 방사성 폐액 중 붕소와 나트륨의 물비가 일정한 값을 초과하는 경우, 분말형태의 폐기물이 파라핀과 균일하게 혼합되지 않고 층을 이루며 분리되며 일부는 고형화 되어 설비 내에 고착되는 현상이 발생하는 것을 경험하였다. 이러한 사례를 분석하고 그 원인을 밝혀 설비운전에 적합한 기준을 세우고자 한다.

2.0 본 론

2.1 울진 1,2호기 액체폐기물처리계통

2.1.1 계통 개요

울진 1,2호기의 액체방사성폐기물처리계통은 발전소운영상 방사선관리구역내에서 필연적으로 발생하는 방사성 폐액을 저장, 처리 및 방출하는 계통으로서 원활히 운영되지 않을 경우 발전소 운영에 지장을 초래할 수 있다. 이러한 폐액처리를 위하여 울진 1,2호기 공용설비로 설치되어 운영 중에 있으며 발전소에서 발생하는 주요 폐수원은 공정배수, 바닥배수, 세탁배수 및 화학배수로 구분되어 선택적으로 수집, 처리된다. 저장탱크는 공정배수탱크(35m³, 2대), 바닥배수탱크(20m³, 4대), 세탁배수탱크(20m³, 2대)가 있으며 기기 제염 시 발생하는 화학배수는 액체폐기물 처리계통으로 유입되어 처리된다. 이러한 저장탱크의 액체 폐기물은 폐액증발기를 통하여 증발 처리한 후 농축폐액 저장탱크로 이송하여 저장된다. 농축폐액저장탱크에 저장된 농축폐액은 농축폐액건조설비를 이용하여 분말형태로 완전 건조 시킨 후 파라핀을 균일하게 혼합한 후 철제드럼에 포장한다. 이러한 일련의 공정은 그림 1 과 같다.

2.1.2 액체폐기물의 조성

울진 1,2호기 폐액증발기에서는 다양한 종류의 액체폐기물을 처리하고 있으며 표 1 에 울진 1,2호기에서 발생된 방사성폐액의 물리, 화학 및 방사 화학적 특성을 나타내었다. 표 1 에서 보면 폐액의 pH는 8.6이며 오염물질의 주요 구성원은 붕소, 나트륨 및 실리카임을 알 수 있다. 폐액의 성분은 발생시기에 따라 다소 차이가 있는데 계획예방정비 기간 전후에는 고농도의 붕산폐액이 발생되며 이때 폐액수집탱크 및 폐액증발기로 가성소다(NaOH) 용액을 적당량 주입하여 물비를 조정함으로써 배관 내 붕산의 석출을 예방한다. 경상운전중 폐액의 유입원은 기기배수, 세탁배수, 탈염기세정 및 이송수 등 비교적 저농도 붕산폐액이 발생된다.

표 1. 울진 1,2호기 방사성폐액의 물리, 화학 및 방사화학적 특성

항 목	시 료	바닥배수집수 조	항 목	시 료	바닥배수집수 조
1. pH		8.6	6. 주요핵종($\mu\text{Ci/cc}$)		
2. 전기전도도($\mu\text{s/cm}$)		310	- Ag-110m		3.05E-4
3. 오염물질(ppm)			- Co-58		2.22E-4
	- Boron	183	- Mn-54		1.45E-4
	- Chloride	0.8	- Cr-51		1.99E-5
	- Sulfate	*	- Fe-59		1.16E-4
	- Sodium	84	- Zr-95		1.31E-5
	- Calcium	5.2	- Nb-95		1.31E-5
	- Magnesium	0.32	- Cs-134		ND
	- Iron	0.03	- Cs-137		ND
- Silica	4.8	- I-131		ND	
4. TOC(ppm)		*	7. 총 β - γ 농도		8.52E-4
5. 총부유고체(ppm)		0.57	($\mu\text{Ci/cc}$)		

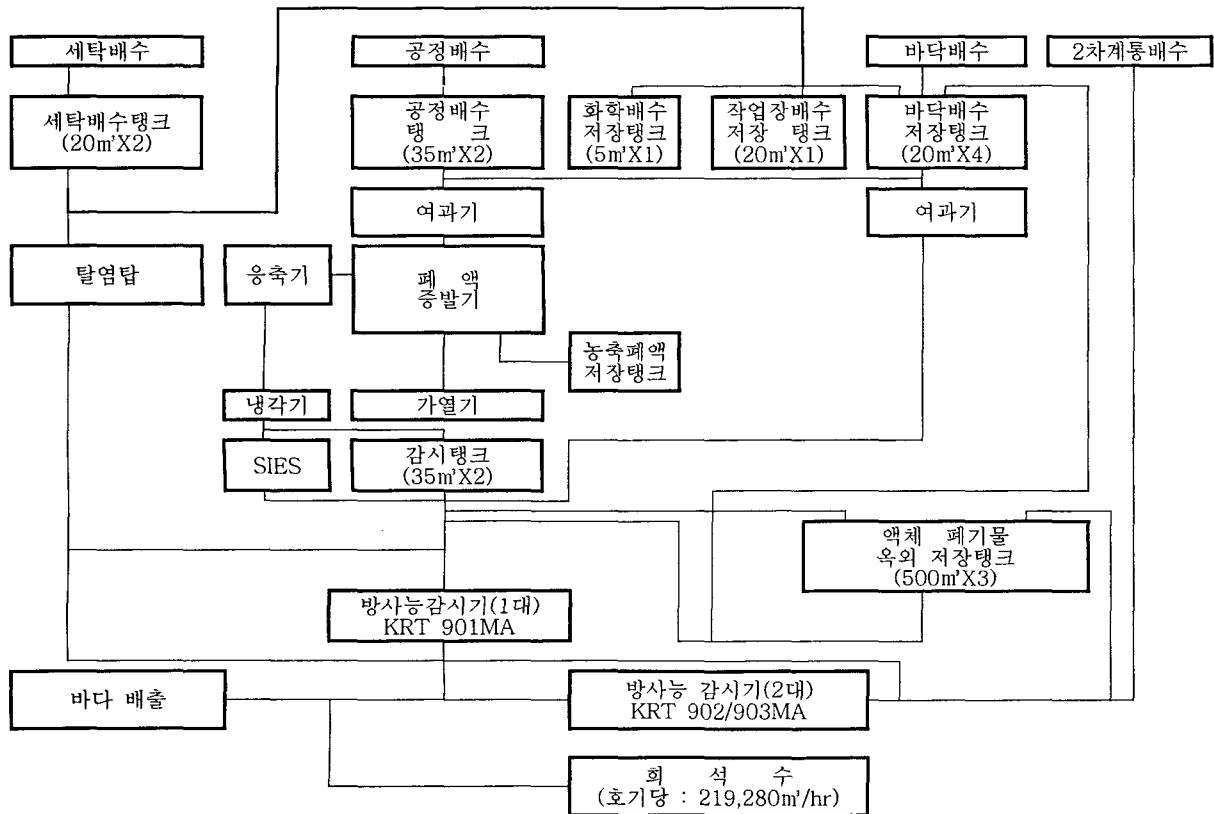


그림 1. 울진 1, 2호기 액체폐기물 처리계통 공정

2.1.3 액체폐기물 시료 채취 및 분석방법

액체폐기물의 시료 채취장소는 액체폐기물처리계통 증발기 시료채취밸브(TEU 403 VB)이며 1회 당 시료량은 500 ~ 700cc 이고 붕소 및 나트륨의 농도는 한국 표준과학연구원에서 검증된 화학 성분 분석 장치를 이용하는데 붕소는 붕소농도자동적정기(702SM, 716DMS-Titrino)를 나트륨은 원자흡광분석기(SpectrAA-880)를 이용한다.

2.2 울진 1,2호기 농축폐액건조계통

2.2.1 계통 개요

농축폐액처리계통은 건조기 본체와 응축수 냉각기, 복수기 및 포장 및 이동설비로 구성되어 있다. 농축폐액저장탱크에서 농축폐액이 건조기 본체로 이송되면 약 230°F의 보조증기를 이용해 가열하여 농축폐액중의 수분을 증발시키고 보조증기는 다시 응축되어 응축수 계통으로 되돌아가게 된다. 농축폐액으로부터 증발된 수분은 복수기를 통해 액체폐기물처리계통으로 되돌아가게 되며 2대의 감시탱크(35톤 용량)에 저장하였다가 시료채취를 하여 방사능 분석 후 배출기준인 $5 \times 10^7 \mu\text{Ci/cc}$ 이내일 경우 직렬로 연결된 방사능 감시기를 통해 해수로 배출된다. 복수기 및 응축수 냉각기에는 농축폐액건조설비 냉각기를 통해 약 42°F에서 52°F의 냉각수가 공급된다. 건조기에서 발생하는 배기체는 배기필터를 거쳐 설비실 내부로 방출되어 처리된다.

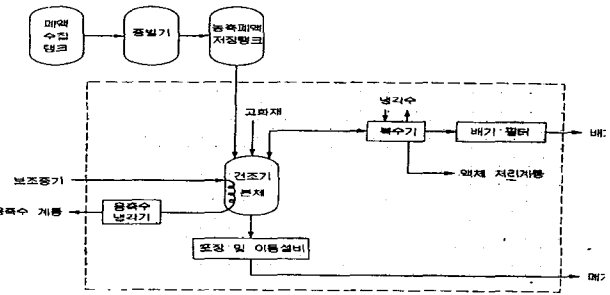


그림 2. 울진 1,2호기 농축폐액건조계통 개략도

2.3 농축폐액건조계통 비정상 운전 사례

2.3.1 시료분석

2003년 7월 4일, 액체폐기물처리계통 증발기에서 농축폐액저장탱크로 농축폐액이 이송되었으며, 이때 액체폐기물처리계통(TE U) 증발기 시료채취밸브(TEU 403 VB)에서 채취한 농축폐액은 고형화분이 16.3w%, 붕소농도는 31250ppm, 나트륨농도는 14000 ppm이었으며 다음 계산식에 의해 구해진 물비는 기준치 0.2보다 약간 높은 0.21이었다.

$$\begin{aligned} \text{물비} &= \text{나트륨 몰수} / \text{보론 몰수} \\ &= (C_{\text{Na}} / M_{\text{Na}}) / (C_{\text{B}} / M_{\text{B}}) \\ &= (14000 \text{ppm} / 23) / (31250 \text{ppm} / 10.8) \\ &= 0.21 \end{aligned}$$

2.3.2 농축폐액 및 고화재량 결정

농축폐액건조설비의 혼합건조기인 Blender/Dryer(이하 혼합건조기로 칭함)에서 한번에 처리되고 이송될 양은 최대 250kg이며 다음의 식을 이용하여 혼합건조기에 250kg의 폐액고체를 만들기 위해 처리할 농축폐액량 및 파라핀 고화재의 양을 결정하였다.

$$\begin{aligned} \text{처리할 농축폐액량} &= (250 \text{kg of solid waste} \times 100\%) / 16.3\% = 1533.7 \ell \\ \text{고화재량} &= (250 \text{kg of solid waste} \times \text{농축폐액 고형화분에 대한 고화재비}(30\%)) / 100 \\ &= 75 \text{kg} \end{aligned}$$

2.3.3 농축폐액건조설비 운전

2003년 7월 9일 10시 10분경, 약 567.75ℓ의 농축폐액을 농축폐액건조설비의 혼합건조기로 이송하고 건조운전을 시작하였으며, 동일 15시 10분 건조운전을 종료하였다. 건조혼합기 내부의 시간대별 온도변화는 표 2와 같이 118°F에서 176°F를 나타내었고, 건조혼합기 내부의 진공도는

농축폐액 저장 탱크(TES 001BA)
농축폐액건조설비 건조기 본체로 농축폐액 이송
보조증기(SVA) 공급하여 건조공정 수행
건조기 본체 감시 카메라로 건조상태 확인
적정량의 파라핀 주입 및 혼합 (농축 폐액량의 20~30%)
혼합물 드럼 이송
드럼 뚜껑 체결
표면 오염도, 선량 측정
임시 보관 장소로 이송 저장

그림 3. 농축폐액건조설비 운전절차

20inchHg에서 24inchHg사이의 값을 나타내어 정상적이었다.

표 2. 농축폐액건조설비 운전변수

운전변수명	10:10	11:10	12:10	13:10	14:10	15:10
혼합건조기 내부온도(TE-1, °F)	125	131	132	137	119	176
혼합건조기 내부온도(TE-2, °F)	118	132	132	137	136	174
혼합건조기 진공도(PT-10, inch Hg)	20	20	20	21	24	23

건조 운전이 종료된 후 약 27kg의 파라핀 액을 건조혼합기에 투입하여 농축폐액 고화분과 파라핀을 혼합하였으나 농축폐액 고화분과 파라핀이 혼합되지 않고 층을 이루며 분리되는 현상이 발생하는 것을 혼합건조기 내에 설치된 감시카메라를 통해 확인하였다. 농축폐액 고화분과 파라핀이 고르게 혼합되지 않으므로 덤프밸브(DV-1)를 개방하여 이들을 방출하려 했으나 파라핀만 방출되고 농축폐액은 젤 상태로 변하여 혼합건조기 내부에 고착되었다.



그림 4. 혼합건조기 내부에 고착된 농축폐액

2.3.1.3 조치

혼합건조기 내부에 고착된 농축폐액은 탈염수를 주입한 후 보조증기를 이용하여 재

가열하여 용해시킨 후 방출시켰으며, 5000ppm의 붕산수 0.8톤을 농축폐액저장탱크내로 주입하여 농축폐액의 물비를 기존의 0.21에서 0.19로 변경하였다. 농축폐액의 물비를 0.19로 낮춘 후 다시 농축폐액건조설비를 운전한 결과 건조 및 파라핀 혼합공정이 정상적으로 진행됨을 확인할 수 있었다. 이러한 경험을 통하여 붕소와 나트륨의 물비의 중요성을 재인식하게 되었으며 나트륨이 금속성이므로 기준치를 초과하였을 경우 젤 상태로 변하여 파라핀과의 균질한 혼합이 불가능하고 이로 인해 농축폐액의 고화 안정을 이룰 수 없음을 확인하게 되었다.

3. 결 론

원자력발전소에서 발생하는 액체폐기물을 효과적으로 제한적인 시간내에 처리하는 것은 원자력발전소의 정상적인 가동에 필수적인 요소이다. 액체폐기물은 울진 1, 2호기에서 연간 8,000톤에서 12,000톤 가량 발생되므로 이를 가장 최적화된 방법으로 처리하는 것은 폐기물량 감용과 종사자의 피폭 저감에도 상당한 중요성을 갖는다. 울진 1,2호기에서는 이러한 액체폐기물처리의 중요성을 인식하여 그동안 꾸준한 업무개선을 추진한 결과 액체 폐기물의 효과적인 처리와 폐기물 감용을 실현하기 위하여 지난 1995년부터 콘크리트 고화방식에서 농축폐액건조설비를 이용한 파라핀 고화방식으로 개선하여 액체폐기물을 효과적으로 처리하고 있다.

최근의 농축폐액건조설비 운전과정에서 경험하게 된 사례를 통하여 농축폐액의 물비가 0.2를 초과하면 농축폐액 고화분은 파라핀 고화제와 혼합되지 않고 유리되는 특성을 가지는 것을 알 수 있다. 따라서 농축폐액건조설비를 통한 농축폐액의 처리를 위해서는 물비를 0.2 이하로 반드시 유지해야 하며, 나트륨 과다로 인한 물비 기준치 초과시 붕산수를 첨가하여 물비를 조정해 주어야 한다.

참 고 문 헌

1. 한국수력원자력(주), 울진 1,2호기 최종안전성분석보고서 Chapter 11 "Radioactive Waste Management"
2. VECTRA, RVR-800 Concentrated Waste Drying System Operating Procedure (OM-079-WS), 1995
3. VECTRA, RVR-800 Concentrated Waste Drying System Maintenance Procedure (OM-076-WS), 1995
4. 한국전력기술(주), 선택성이온교환설비 기본설계서, 1997
5. 한국수력원자력(주), 농축폐액건조계통 성능점검 및 운전절차 Rev.02, 2003
6. 한국수력원자력(주), 원자흡광분석기(AA) 사용관리 Rev.0, 2003
7. 한국수력원자력(주), 자동적정기 운전 절차서 Rev.03, 1998
8. 한국수력원자력(주), 울진 1,2호기 방사성 폐액증발기 성능복구 및 방출방사능 제로화, 1997