

## 한국원자력연구원 액체 방사성폐기물 발생 및 처리 현황 분석

장원혁, 김태국, 홍대석, 강일식, 손종식, 유영걸, 신기백  
 한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 989번길 111  
[whjang@kaeri.re.kr](mailto:whjang@kaeri.re.kr)

### 1. 서론

연구원내의 하나로 부대시설인 동위원소생산시설, 조사후연료시험시설 및 각 연구실에서 발생하는 액체 방사성폐기물은 성분 및 방사능 농도에 따라 분류되어 폐기물처리시설내의 각 저장탱크로 저장된다. 저장된 액체 방사성폐기물은 중화 및 균일화 과정을 거친 후 증발농축공정을 통해 처리된다. 증발시 발생된 응축수는 자연증발 처리되며, 농축액은 고화공정을 통해 처분 준비드럼으로 저장한다. 본 논문은 2009년에서 2011년까지 3년 동안 실제 액체 방사성폐기물을 처리한 공정운전 기록을 바탕으로, 액체 폐기물의 처리현황을 분석하고 공정의 효율성을 평가하여 처리 및 운영의 최적화에 활용하고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1 액체 방사성폐기물 분류

연구원의 방사성폐기물관리규정에 근거하여 폐액 성상에 따라 유기(O)폐액, 무기(A)폐액으로 구분한다. 또한, 방사능 농도에 따라 표 1과 같이 극저준위(VL), 저준위(LL), 중준위(ML)로 구분하며 방사능 농도에 따라 저장 및 처리방법을 달리한다[1].

Table 1. The Classification of Liquid Radwaste.

준 위	구분	액체폐기물 방사능 농도(kBq/ml)	처리 방법
극저준위	VL	$A < 1.85 \times 10^{-4}$	자연 증발
저준위	LL	$1.85 \times 10^{-4} \leq A < 3.7$	증발 농축
중준위	ML	$3.7 \leq A < 3.7 \times 10^2$	고화
종 류	O	유기폐액(Organic)	
	A	무기폐액(Aqueous)	

#### 2.2 액체 방사성폐기물 발생량 및 방출 핵종

##### 2.2.1 액체폐기물 발생량

방사성폐기물처리시설과 연결된 지하배관을 통

하여 하나로운영부 동위원소생산시설[54%], 조사후연료시험시설[18%]로부터 액체폐기물이 이송된다. 그 밖에도 그림 1과 같이 화학연구부, 제염해체연구부, 중대사고 중수로 안전연구부 등을 포함

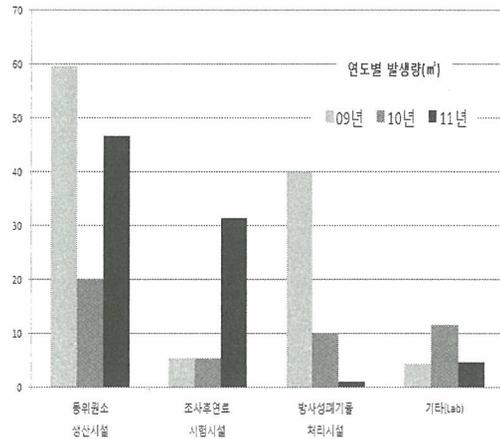


Fig. 1. The amount of Liquid Waste Collected from Facilities and Laboratories.

하여 기타(Lab)[7%] 실험실로부터 폐기물이 수집되며, 방사성폐기물처리시설[21%]내의 각 공정에서 발생된 액체폐기물이 저장된다.

##### 2.2.2 액체폐기물 내 핵종

각 시설 및 연구실에서 발생하는 액체폐기물은 원자력화학연구부에 의뢰하여 방사능 핵종 및 농도를 측정 한다. 측정된 데이터를 통해 준위를 구분하며,  $\beta$ ,  $\gamma$  핵종 등 다양한 핵종을 가진다. 그 중에서 대표적인 핵종의 평균 농도는 아래 표 2와 같다.

Table 2. Major Radionuclides emitting  $\beta$ ,  $\gamma$ -ray and average radioactivity concentration.

방출 핵종	평균 방사능 농도 (kBq/ml)
Co-60	1.09E+00
Cs-137	1.49E+00
H-3	6.66E-01

### 2.3 증발농축공정

#### 2.3.1 증발농축공정 개요

방사성폐기물처리시설의 증발기는 반회분 강제순환식(semi-batch forced circulation) 증발기로서 시간당 약 1m<sup>3</sup>의 액체폐기물을 처리한다. 증발기 내의 폐액은 처리된 양만큼 자동으로 공급되어 항상 일정한 수위를 유지하며 증발된다. 순환펌프에 의하여 가열기를 통과한 폐액은 증발기내에서 기화하여 상부에 설치된 6단의 포종단(bubble cap plate)을 통과하게 된다. 이때 수증기에 포함된 다수의 핵종은 증발기 상단, demister의 탈염수를 거쳐 응축기와 냉각기를 지나 이온교환기에서 미량의 핵종까지 제거된 후 저장된다.

#### 2.3.2 증발기 성능

액체 방사성폐기물을 처리하는 증발기의 성능을 나타내는 것으로는 시간당 증발량과 제염계수가 있다. 설계상의 성능으로는 증발량 1m<sup>3</sup>/hr 이상, 제염계수는 증발기가 10<sup>5</sup> 이상, 이온교환기가 10 이상을 유지하도록 되어있다[2]. 증발기의 제염계수는 증발기의 종류에 따라 다르게 계산되어지나 방사성폐기물처리시설이 운용하는 반회분 강제순환식 증발기의 경우 응축액의 방사능 농도에 대한 공급액의 방사능 농도비와 처리량 등의 변수를 수치로 표현하는 것이다.

폐기물처리시설에서 보유하고 있는 증발기의 경우 증발기 상부에 6단의 포종단이 있고, 그 위로 demister를 설치하였으며, demister 상단에서 탈염수를 분사하여 수증기내의 핵종제거 효과를 최대화하여 제염계수를 높이는 형태로 제작되어 있다[3].

#### 2.3.3 제염계수 계산

반회분 강제순환식 증발기인 경우 제염계수의 계산식은 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 DF &= 0.5 \times \frac{C_f}{C_c} \times \left\{ 1 + V_r - \frac{C_c}{C_f} \times \frac{V_f}{V_c} \right\} \dots\dots (1) \\
 &= 0.5 \times \frac{1.13E+04}{2.14E-02} \\
 &\quad \times \left\{ 1 + 0.03 - \frac{2.14E-02}{1.13E+04} \times \frac{100}{3} \right\} \\
 \therefore DF &= 2.72 \times 10^5
 \end{aligned}$$

여기서,

$C_f$  : 공급액의 방사능농도 [Bq/ml]

$C_c$  : 응축액의 방사능농도 [Bq/ml]

$V_f$  : 공급액의 총 부피 [m<sup>3</sup>]

$V_c$  : 응축액의 부피 [m<sup>3</sup>]

$V_r$  : 부피감용비

### 3. 결론

연구원 내에서 발생하는 액체 방사성폐기물은 성상과 방사능 농도에 따라 관리되어지고 있다. 발생된 액체 방사성폐기물은 Co-60, Cs-137, H-3 등 다양한 핵종이 포함되는 것을 확인하였다.

방사성핵종을 가진 입자는 대부분 증발기 상부의 demister에서 포종단으로 공급되는 탈염수에 의해 제거된다. 제염계수는 계산식에 의해  $2.72 \times 10^5$ 을 얻을 수 있었으며, 이는 증발기 설계 성능인 10<sup>5</sup> 이상으로 증발기의 안정적인 처리성능을 확인할 수 있었다.

향후 증발증기가 통과하는 응축기와 냉각기를 순환하는 냉각수의 온도, 폐액 공급량 및 demister량의 공정변수에 따른 증발량을 조사하여 최적의 운전 조업 조건을 확립하여 효율적인 공정운영에 기여하고자 한다.

### 4. 참고문헌

- [1] 한국원자력연구원 방사성폐기물관리규정(원규 2-14.24), p 5, (개정 2008. 6. 23.)
- [2] 사용후핵연료 처리시설 시설설치 승인서 및 설공서, p. IV-7, Rev. 10 (2011. 11. 10.)
- [3] “방사성폐기물처리시설운영”, KAERI/MR-516/2011, 한국원자력연구원, p 6-8, 2011.