

Foam을 이용한 복합형상 금속폐기물의 제염특성 실험

김승일, 강덕원, 성진현, 김현기, 성기홍*, 정연하*

한국정수공업(주), 경기도 시흥시 정왕동 1281-2

*한국수력원자력(주), 전라남도 영광군 홍농읍 홍농로 846

dharmas@haji.co.kr

1. 서론

원전의 가동 년수 경과 및 발전소 호기수 증가와 더불어 다양한 형상의 기기, 배관 및 부품 등의 보수 및 교체로 인해 작업자의 피폭보호 및 폐기물 발생량을 줄이기 위한 제염의 필요성이 증대되고 있다. 이러한 복합형상의 제염대상 물질들은 형상에 따른 적합한 제염방법 및 발생폐액에 대한 처리공정이 확립되어 있지 않다. 일부 원전에서는 교체된 증기발생기 및 기기냉각수(CCW) 열교환기를 발전소내에 보관, 관리하고 있다. 이들 대형 금속폐기물들은 장기 사용에 따른 세관의 부식으로 내부가 방사능으로 오염되어 있다. 특히, 미량의 방사능으로 오염되어 있을 경우의 적용 제염법으로는 건식제염법인 Blasting 제염법과 약품 등을 사용하는 습식제염법을 고려할 수 있다. Blasting 제염법은 2,000여개의 세관을 일일이 발체하여 제염해야 하고 내부 벽면도 Blasting을 통해 제염해야 하기 때문에 절단·제염 과정에서 발생하는 오염분진 등으로 인한 작업자의 피폭우려가 있다. 화학약품을 사용하는 습식제염법의 경우는 건식제염법으로 미치지 않는 굴곡 부위까지 고르게 제염할 수 있으나 용액을 사용하기 때문에 다량의 제염폐액발생으로 최종 폐액에 대한 추가적인 처리비용 발생과 약 100톤의 물을 장입하여 제염하기 때문에 보관 장소의 지반 하중에 대한 고려도 함께 해야 한다. 이러한 문제점을 동시에 극복할 수 있는 제염법으로 거품(Foam)제염법을 들 수 있다.

거품제염법은 적은 양의 제염용액으로도 제염이 가능하며 설비의 적절한 구성을 통하여 제염용액의 재사용 및 거품발생시 사용된 공기도 재활용이 가능할 뿐만 아니라 용액순환방식과 동일하게 미세한 부분까지의 제염이 가능하다. 또한, 제염 후 해체 및 폐기를 위한 절단 작업시 오염분진으로 인한 작업자의 피폭을 방지할 수 있는 장점을 지니고 있어 매우 유용한 제염기술 중 하나이다.

본 연구는 미량의 방사능으로 오염된 폐열교환기와 같은 복합형상의 대형 방사성 금속폐기물의 제염시 폐액 발생량이 적으면서도 효과적인 제염이 가능한 거품제염 공정을 도입하기 위한 목적으로 수행되었다.

2. 본론

2.1 이론적 배경

대형 금속폐기물에 거품제염공정을 적용하기 위해서는 거품의 발생원리 및 특성을 우선적으로 고려하여야 한다. 거품은 기포제와 제염제 및 기타 첨가제를 일정 비율로 혼합한 제염용액과 압축공기를 거품발생기에 투입하여 기계적인 방식으로 교반, 생성시킨다. 거품의 물성에는 투입된 기포제의 양, 공기와 용액의 비율, 교반기의 회전수 등 다양한 인자들이 영향을 미치며 거품의 특성은 대표적으로 거품의 크기, blow ratio, 거품밀도 및 거품의 반감기(half-life) 등으로 나타낸다.

$$\text{Blowratio} = \frac{w_L}{w_F} \approx \frac{V_L}{V_F} \quad \text{————— (1)}$$

Blow ratio는 거품 생성 전 무게(w_L)와 거품 생성 후 무게(w_F)의 비(1)로 나타내며 공기의 무게를 무시한다면 거품 생성전후의 부피비로 나타낼 수도 있다.

실제 거품제염공정을 적용할 경우, 발생장치에서 생성된 거품이 제염대상 폐기물의 출구에 도달할 때까지 파괴되지 않고 안정성을 유지하는 것이 매우 중요하며 이에 대한 척도로써 거품의 반감기가 고려되며 이는 거품 생성전 원액의 절반에 상당하는 양이 거품으로부터 흘러내리는데 걸리는 시간($t_{1/2}$)으로 나타낸다.

임의의 시간(t)에 흘러내린 용액의 양(V)은 Dawson의 관계식(2)으로 나타낼 수 있으며, 시간의 경과에 따라 액체가 흘러내리는 속도는 평판 사이에 흐르는 액체의 점성유동을 따르며 Gibbs

의 관계식(3)으로 표현할 수 있다.

$$\frac{V}{V_0} = (1 - e^{-ct}) \quad (2)$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\rho g \delta^2}{8\eta} \quad (3)$$

식(3)에 따르면, 흘러내리는 속도는 액체의 밀도 (ρ)와 막두께(δ)의 제곱에 비례하고, 액체의 점도 (η)와는 반비례하므로 거품 생성 시 제염용액의 점도, 기포제, 첨가제 및 발생장치의 기계적 변수 등을 고려하여 충분한 거품안정성을 확보하여야 한다.

2.2 거품발생특성 실험

기포제의 양, 공기 투입량 및 교반속도 등에 따른 거품발생 특성을 살펴보기 위하여 Fig. 1.과 같은 장치를 구성하여 실험을 수행하였으며 기포제로는 Sodium Lauryl Sulfate(Duksan Pure Chemical, Korea)를 사용하였다.

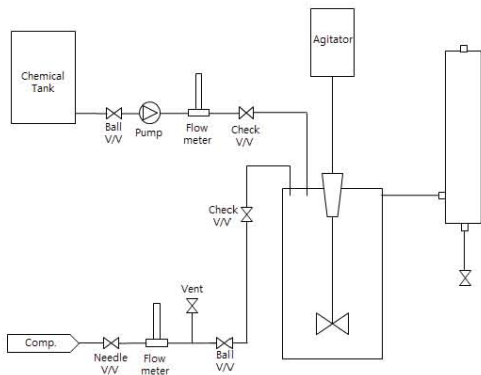


Fig. 1. Schematic diagram of foam properties evaluation apparatus.

거품특성 평가장치는 교반속도 및 제염용액과 압축공기 투입량을 조절할 수 있도록 구성하였고 거품 반감기 측정과 거품의 특성을 육안으로 확인할 수 있도록 투명재질로 제작된 컬럼으로 이동한 후 배출되도록 구성하였다.

2.3 결과 및 고찰

대형 방사성 금속폐기물에 거품제염공정을 적용하기 위해서는 거품이 제염대상의 출구까지 도달할 때까지 파괴되지 않아야 하므로 최소 90분 이상의 반감기가 필요하다. Table 1과 Table 2에 기포제의 양과 교반장치의 회전수에 따른 거품발생 특성을 나타내었다.

Table 1. Effect of foaming agent concentration on the properties of generated foam.

Conc. of foaming agent (%)	height of foam(cm)	Half-life (min)
0.5	0	-
1	3.5	118
1.5	9	122
2	14.3	125
2.5	15.5	124

* Stirring speed : 5,000rpm, air supply : 50ml/min at 5kgf/cm².

Table 2. Effect of stirring speed on the properties of generated foam.

Stirring speed(rpm)	height of foam(cm)	Half-life (min)
500	0	-
1,000	0	-
2,000	5.6	68
3,000	7.9	104
5,000	14.3	125

* Foaming agent conc. : 2%, air supply : 50ml/min at 5kgf/cm².

기포제의 농도가 증가함에 따라 거품의 발생량은 점차 증가하였으나 2% 이상에서는 더 이상 증가하지 않았으며, 이때 거품의 반감기는 120분 정도로 거의 유사한 경향을 보였다. 교반속도가 낮을 경우, 충분한 양의 거품이 발생하지 않았으며 교반속도가 증가할수록 거품의 반감기도 증가하는 것을 알 수 있었다. 이를 통해 거품의 반감기는 기포제의 농도에는 영향을 받지 않으며 기포제의 종류 및 교반속도에 큰 영향을 받는 것으로 확인되었다.

3. 결론

제염공정에 적용하기 위한 거품의 특성 중 안정성의 척도인 거품의 반감기는 기포제의 종류 및 발생장치의 기계적인 교반속도에 의해 영향을 받는 것으로 확인되었으며, 향후 교반장치의 형태에 따른 거품발생 특성, 제염용액 및 공기의 재사용 공정 연구 및 Mock-up test를 통한 제염효과 등에 대한 연구를 수행할 예정이다.

4. 참고문헌

- [1] 기술보고서 "화학세정편람", 한국수력원자력(주) 원자력발전기술원 엔지니어링실, p228-235, 2011.