

스팀젯을 이용한 해체 폐기물의 제염연구

윤청현, 이근우, 이동규, 정경환, 박진호
한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

yeh0101@empal.com

원자력시설의 해체시에는 고체 및 액체 상태로 다량의 방사성 폐기물이 제염이나 해체 과정에서 발생된다. 이러한 해체 폐기물의 관리는 제염 및 처리하여 가능한 한 재순환 및 재활용 할 수 있도록 하고, 자체처분 제한치 이하로 처리하여 규제해제 폐기물화 함으로써 폐기물의 발생량을 최소화 하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 스팀젯을 이용하여 방사성 오염물질의 제염 연구를 수행하였다. 스팀젯 제염은 고온, 고압의 스팀을 방사성 오염물체에 분사시켜 오염물을 제거하는 방법으로, 이때의 고온스팀은 오염물체와의 접촉으로 응축되어 오염물을 용해시키고, 용해반응은 고온에 의해 가속된다. 그리고 용해된 오염물은 곧바로 응축된 물입자의 증발력과 스팀 분사력에 의해 오염물체로부터 제거된다. 스팀젯 제염기술은 기존의 고압수 및 연마성 모래 분사에 비하여 2차 폐기물 양을 획기적으로 저감할 수 있으며, 제염시간 단축, 제염효율의 향상, 미세(지름 $5\mu\text{m}$ 이하)입자의 제거, 물 사용량의 감소 등의 효과가 예상된다.

실험에 사용한 스팀젯 제염장치는 스팀의 온도 160°C , 분사압력이 최고 8기압으로 제작하였다. 그리고 장치의 구성은 스팀발생장치, 실제 스팀분사 노즐을 이용한 제염 공간인 밀폐형 스팀 제염실, 스팀과 제염 중에 발생하는 비산(飛散) 오염물을 흡입하기 위한 흡입장치로 이루어져 있다.

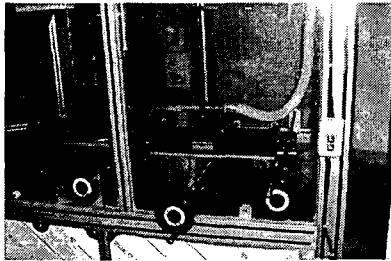


Fig. 1 Case for steam jet decontamination



Fig. 2 Vacuuming system

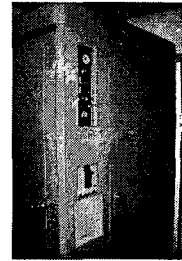


Fig.3 Steam generator

실험을 위한 시편은 입자성 방사성 오염물과 실제 방사성 오염물로 구분하여 준비하였다. 입자성 오염물 시편은 재질이 서로 다른 세 가지 물질(Carbon steel, Aluminium, P.V.C.)을 지름 3cm, 두께 2mm의 원형으로 제작하여, 이 위에 방사성 코발트 선원 용액과 $1\mu\text{m Al}_2\text{O}_3$, $2\sim 3\mu\text{m Al}_2\text{O}_3$, $5\mu\text{m TiO}_2$ 를 각각 섞은 용액을 도포한 후 공기 중에서 24시간 이상 건조하여 준비하였다. 그리고 실제 오염물 시편은 TRIGA MARK II 해체 중에 발생한 알루미늄 폐기물을 이용하였다.

실험은 160°C , 5기압의 고온, 고압 스팀을 분사 거리 5cm로 고정하고, 분사 시간을 달리하여 제염 실험을 수행하였다.

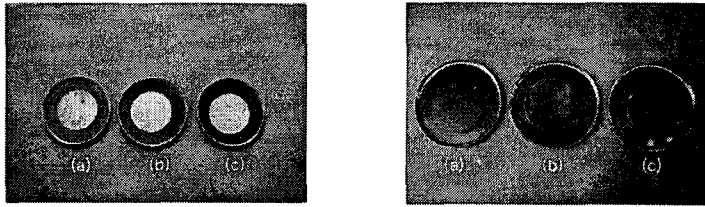


Fig. 4 Specimens before and after the steam jet decontamination
(a) Carbon steel, (b) Aluminium, (c) P.V.C.

Table 1 은 Carbon steel에 대한 스팀젯 제염 결과를 나타낸 것이다. 스팀의 분사 시간과 무관하게 거의 비슷한 제염 결과를 보였다. 특히 5초 이내에 제염 한계치에 도달하는 것으로 나타났다. 반면 오염물의 입자 크기가 증가함에 따라 제염율도 높아지는 것으로 나타났다. 이것은 입자의 크기가 감소함에 따라 입자와 재질과의 결합력(주로 반 데르 발스, 수소결합, 정전기력 등)이 서서히 감소하는 반면, 이 결합력을 제거하기 위한 힘(주로 Hydrodynamic force)은 급격하게 감소하기 때문이다. Table 2는 스팀 분사 시간을 5초로 고정하고, 세 가지 재질의 시편에 대하여 제염 실험을 수행한 결과이다. Aluminium과 P.V.C.는 비교적 높은 제염율(약 90%이상)을 보인 반면, Carbon steel은 최고 76%의 낮은 제염율을 보였다. 이것은 재질의 표면 거칠기에 따른 입자와 재질의 결합력 차이에서 기인한 것으로 판단된다.

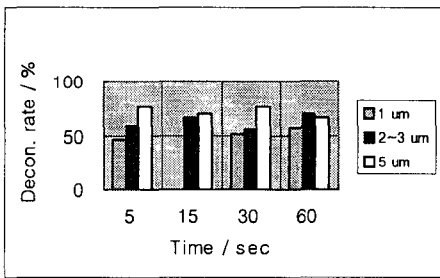


Fig. 5 Decontamination results for carbon steel

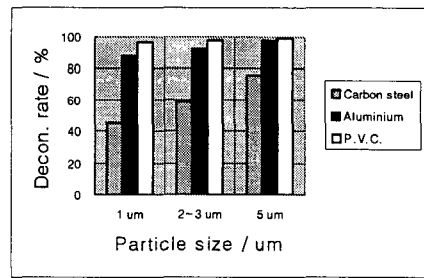


Fig. 6 Decontamination results for different kinds of substrates

해제 폐기물에 대한 스팀젯 제염의 실증 실험 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 실험 결과 대부분의 시편이 약 50% 이하의 낮은 제염율을 보였다. 이것은 사용한 시편의 대부분이 규제 해제 폐기물 수준의 낮은 오염도를 갖기 때문이다. 그러나 낮은 제염율에도 불구하고 모든 시편은 규제 해제 폐기물 기준 이하로 제염되었다. 향후 제염효과를 증대시키기 위하여 유무기 제염제를 스팀과 함께 분사시키는 제염법을 연구할 계획이다.

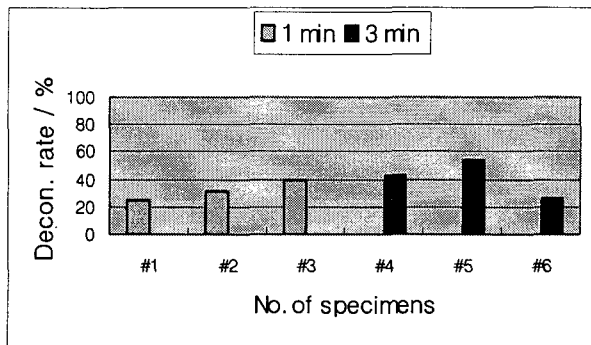


Fig. 7 Decontamination results for real specimens