콘크리트의 오염상태에 따른 효율적 처리방법 개발

김승수*, 한규성, 구대서, 김계남, 최종원
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
*nsskim@kaeri.re.kr

1. 서론

원자력 시설을 해체하였을 경우, 콘크리트 폐기물이 가장 큰 부피를 차지하는 것으로 예측되고 있다. 원자력연구원에서는 우라늄변환시설을 복원하는 과정에서 1500 드럼이상의 콘크리트 폐기물이 발생하였다. 이 콘크리트를 방사성폐기물 처분장에 모두 처분한다면, 막대한 처분비용 뿐 아니라 처분장의 효율성도 저하되게 된다.

방사성 원소로 오염된 콘크리트의 제염연구는 국내외적으로 지금까지 많이 수행되지 않았다. 다만, 방사성 물질 취급시설로부터 오염된 콘크리트를 물리적으로 분리하기 위한 pneumatic drilling, 혹은 laser ablation [1] 등이 연구되었다. 또한, 콘크리트 산업폐기물을 가열하여 시멘트 분말을 골재로부터 분리시키는 방법을 응용하여 방사성 콘크리트 폐기물로부터 방사성핵종을 많이 포함한 시멘트를 골재와 분리하여 콘크리트 폐기물의 부피를 줄이는 연구가 진행된 바 있다.

본 연구에서는 우라늄변환시설에서 채취한 콘크리트 폐기물을 보다 효율적으로 처리하는 방법을 개발하고자 하였다.

2. 실험

2.1. 콘크리트폐기물의 분류

우라늄으로 오염된 콘크리트 폐기물을 채취한 위치에 따라 그 조성과 오염정도가 다르므로 건물의 벽과 바닥면, 그리고 바닥 깊은 곳에서 채취한 시료로 나누었다. Fig. 1에서 보듯이 건물의 콘크리트 바닥 시편은 표면이 에폭시로 코팅되어 있으므로 다른 시편과 쉽게 구별되었다. 벽면 시편은 대부분 벽돌로 되어있어 자갈과 같은 큰 골재 없이 시멘트와 모래로 되어있다. 그 외에 콘크리트 폐기물은 대부분 건물의 기초 부분에 해당하므로 철근과 같이 섞여 있었다.

(a) (b) (c)

Fig. 1. Concrete wastes from (a) floor, (b) underfloor, and (c) wall.

2.2. 제염실험

건물의 콘크리트 바닥면에서 채취한 시편은 에폭시를 제거하기 위하여 600℃ 이상으로 가열된 소각로 1차 chamber에서 태웠다. 발생된 기체는 800℃ 이상으로 가열된 2차 chamber에서 완전연소 시켰으며, 이 배기가스는 냉각기를 통하여 150℃ 부근으로 냉각시킨 후 필터를 통하여 배출시켰다. 연소된 시편은 글러브박스에서 오염정도를 체크하면서, 표면을 그라인더로 제거하였다. 갈아낸 분말은 모아 2차방사성폐기물로 처리하였으며, 나머지 부분은 jaw crusher로 파쇄한 다음, 감마스펙트로미터를 측정하여 시편의 제염여부를 검사하였다. 벽에서 채취한 시편은 우라늄이 오염된 부분이 노란색 혹은 황색을 나타내었다. 따라서 글러브박스에서 이 부분을 제거한 다음, 가열과정이 없이 에폭시가 붙어있는 시편과 동일하게 처리하였다.

건물의 바닥 표면 아래에서 채취한 시편은 jaw crusher로 파쇄한 다음, 전동체로 쳐서 1 mm 이상의 시편은 볼밀에 넣었다. 콘크리트와 유사한 부피의 물을 넣고 질산을 넣어 pH를 약 0.5 정도로 맞춰 2회 세척하였다. 그 후 소량의 물로 씻은 다음, 감마스펙트로미터를 측정하여 시편의 제염 여부를 체크하였다. 만약, 이들이 자체처분 규제치를 넘었을 경우, 한 번 더 질산으로 세척하였다. 1 mm 이하의 시편은 세척조에 넣고 볼밀에서 나온 세척액으로 1차 세척하였다. 그 다음, 시편의 방사능을 측정하여 방사능이 매우 높을 경우는 동전기로, 그렇지 않은 경우는 세척조에서 자체처분 규제값을 이하에 도달할 때까지 수차례 세척하였다.

3. 결과 및 토의

방사선실험실의 바닥은 방사선 물질의 바닥에 스며드는 것을 방지하기 위하여 에폭시 혹은 우레탄으로 코팅되어야 한다. 그러나 실제 이 에폭시가 붙어있는 시편에서 고농도의 우라늄이 검출되었으므로 이를 제거하여야 한다. 경화된 에폭시는 용해가 거의 불가하므로 태우는 방법을 사용하였다. 600℃ 이상으로 가열되었던 콘크리트는 접속력이 약화되어 글러브박스에서 끌 등으로도 쉽게 표면을 제거할 수 있었다. 우라늄은 강염기 조건에서 쉽게 수산화물 침전을 형성하므로 시멘트 혹은 콘크리트와 같이 물과 접하여 pH를 강염기로 만드는 물질에 깊이 침투하지 못하였다. 따라서 에폭시를 태운 시편의 표면을 3 mm 정도 제거하였을 경우, 대분의 우라늄이 제거되었다.

벽면에서 채취한 시편은 우라늄으로 오염된 부분이 노란색 혹은 황색을 나타내므로 이 부분을 제거하였다. 특히, 벽면 시편은 바닥의 기초 콘크리트와 달리 많은 부분이 벽돌로 되어 있으므로 이를 산으로 세척하면 벽돌에서 많은 시멘트가 용해되어 2차폐기물의 양이 많이 증가하게 되므로 건물의 기초 콘크리트 시편과 달리 처리해야 한다.

건물의 바닥 아래 해당하는 부분에서 채취한 시편은 30 mm 이하로 파쇄 후 입자크기를 5 mm 이상, 1-5 mm, 1 mm 이하로 나누었는데, 이는 1 mm 이하의 입자가 볼밀에서 혼합되었을 경우, 우라늄의 농도가 높을뿐더러 용액이 겔 상태로 되어 고체/액체의 분리가 어렵다. 그러나 5 mm 이상과 1-5 mm 입자는 제염정도에서 차이가 크게 나지 않았고, 고체/액체의 분리에서도 큰 문제가 발생치 않으므로 같이 혼합하여 처리하였다.

이상의 실험결과들로부터 우라늄으로 오염된 콘크리트 폐기물의 제염방법을 종합하여 Fig. 2를 얻었다.

4. 결론

콘크리트 폐기물을 효과적으로 제염하기 위해서는 시료의 조성 및 시료채취 위치, 그리고 오염핵종의 특성 등에 따라 오염정도와 오염형태가 달라질 수 있다. 우라늄변환공장에서 발생한 우라늄으로 오염된 콘크리트를 Fig. 2와 같이 건물의 벽면과 바닥 미장부분, 바닥 기초부분으로 나누어 달리 처리할 경우, 2차폐기물의 발생량을 크게 줄일 수 있을 것이다.

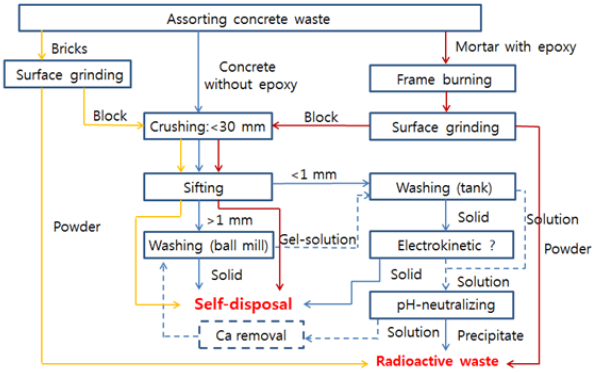

Fig. 2. Developed decontamination process for U-contaminate concrete.

5. 참고문헌

[1] Lippmann W, Knorr J, Wolf R, Reinecke A, Decontamination of silicate surfaces by laser ablation with simultaneous conditioning of waste products. Institute of Power Engineering, Chair of Nuclear Engineering, University of Technology Dresden, 2006.