

KRR 1&2 제염·해체에서 방사성 금속 고체폐기물의 관리

Management of Metallic Radioactive Waste from Decontamination and Decommissioning of KRR 1&2

정기정, 이동규, 정경환, 이근우, 박진호
한국원자력연구소

요 약

제염·해체 설계단계에서 예견하였던 것과는 다르게 실제 제염·해체 과정에서는 다양한 조건과 상황이 야기됨으로써, 실제 폐기물의 특성과 양이 당초 예상과는 다른 금속성 폐기물도 발생하게 된다. 이러한 금속성 폐기물을 관리하기 위한 관리시스템을 분석하고, 이에 대한 최적 처리방법 및 공정을 선정할 수 있는 단위기술을 고찰하였다. 또한 원자력시설 제염·해체 동안 예견되는 상황에서 사용할 수 있는 적절한 기술과 공정관리시스템도 도출하였다.

Abstract

The variety conditions and working situations during decontamination and decommissioning practice may cause the production of metallic wastes, which can differ in character or in quantity from the waste anticipated during D&D planning. The management of such kind of wastes involves the need to evaluate existing waste management system in order to determine how metallic wastes should be well handled and treated. In this study, the investigation of existing management practices which can be also applied to the metallic waste management, was carried. Simultaneously, assistance in selection of appropriate technologies and processes is investigated which can be used when anticipated situations occur during decontamination and decommissioning practice.

1. 서 론

서울의 구 한국원자력연구소 연구용 원자로 1, 2호기(TRIGA Mark-II&III)는 원자력 과학기술 발전뿐만 아니라 원자력산업 기술발전에 크게 기여한 바 있다. 그러나 1995년 30MW급 다목적 연구로인 하나로가 대전에서 준공·가동함으로써, 지난 30여 년간의 운영으로 수명을 다하게 된 연구용 원자로 1, 2호기는 폐로의 길을 걷게 되었다. 이에 따라 1997년부터 연구로와 관련 부대시설 및 부지 등에 대한 특성을 파악하고 제염·해체 설계를 하였다.

연구용 원자로의 운영과 동위원소 생산, 그리고 연구로를 이용한 응용연구, 이와 관련한 각종 실험실 내에서의 실험활동 등으로 인하여, 물리·화학적으로 서로 다른 특성의 제염·해체 대상

물에 의한 방사성 폐기물이 발생하게 된다.

고체폐기물을 나타내는 기준으로는 폐기물의 화학적 특성, 물리적 특성, 그리고 방사능적 특성 등이 있다. 그리고 이러한 고체폐기물의 다양한 특성은 처리공정의 선정에 중요한 결정인자가 된다.

화학적 특성으로는 일반적으로 폐기물 자체특성 즉 가연성, 비가연성 그리고 금속성 여부 등의 분류기준이 적용되며, 오염특성으로는 표면오염도, 부식층의 존재여부 그리고 방사화 여부 등이 대표적인 특성으로 나타난다. 한편 물리적 특성에는 밀도, 물리적 형태 및 크기 등이 고려되는데, 이러한 제반특성들이 고체폐기물의 처리시스템 선정에 매우 중요한 인자가 된다. 그리고 방사능적 특성에는 방사능 준위에 따른 분류로 처리와 취급에 기준이 되고 있다.

이에 따라 일반적으로 고려될 수 있는 방사성폐기물에 대한 관리시스템은 제염·해체 설계 단계에서 이미 구축된 바 있으며, 2001년 6월부터 동위원소 생산을 위한 실험실을 비롯하여 납 핫셀의 해체를 완료하였고, 현재 연구로 2호기(KRR-2)의 로심과 부대시설 그리고 동위원소 생산용 조사 파이프를 해체하였다. 지금까지 발생되고 있는 폐기물은 앞에 서술된바와 같이 물리화학적 특성이 다양하다. 이중 특별히 제염 처리가 요구되는 폐기물은 금속성 폐기물이다.

본 연구에서는 현재 구축된 관리시스템에서 제염·해체시 발생하는 금속성 방사성 폐기물의 화학제염, 초음파 제염 등의 제염처리를 중심으로 조업조건을 구하고, 기타 폐기물의 관리 실적을 토대로 안전하게 관리할 수 있는 기술적 관리방법을 논하고자 한다.

2. 수분이 함유하지 않은 고체폐기물의 처리기술 선정

고체폐기물 처리기술 선정에 영향을 주는 인자는 금속함유 여부, 개체 크기, 가연성 여부 그리고 방사능 준위 등이다. 만일 표면만 오염된 금속 고체폐기물이라면 적절히 제염하여 재사용 하거나 규제해제 폐기물화 한다. 이러한 처리방법 선정에는 경제성 분석이 필요하다. 또한 폐기물을 세단하거나 압축함으로써 부피를 감소시킬 수 있다. 폐기물의 화학적 특성은 연소공정 적용에 결정적 요인이 된다.

기술의 선정 지점에서의 판단기준은 제염의 경제성, 재사용이나 규제해제 폐기물로의 전환에 따른 규정에 적합한가, 감용효과에 따른 경제성, 농축기술과 변환기술의 경제성, 그리고 고정화 여부 등이다.

제염의 경제성 판단은 오염된 폐기물을 제염하여 재사용할 수 있게 하거나 규제해제 폐기물화 할 수가 있다. 그러나 제염에 따른 비용이 크거나 2차폐기물의 발생량이 과다하면 효과적이지 못하다. 표면이 오염된 금속성 폐기물에 대하여 제염이 실용적이고 경제적인 것으로 판단될 경우 또는 처분대상 폐기물이 운송에 적합할 경우 적절한 제염을 하는 것은 매우 효과적이다. 이때 제염 용액은 액체폐기물로서 처리된다.

재사용이나 규제해제 폐기물로의 전환에 따른 규정에 적합한가의 판단은 제염 이후에 폐기물의 오염도를 검사하여 법적 기준값과 비교하여 재사용 여부 및 규제해제 폐기물화 할 것인가를 결정한다. 이 기준값을 초과하는 폐기물은 부가적인 제염여부나 처분 여부를 판단할 수 있는 평가를 하여 결정한다.

감용효과에 따른 경제성은 폐기물의 발생량과 폐기물의 특성에 따라 감용 여부를 결정한다. 비교적 높은 빈 공간이 있는 가연성폐기물과 압축성 폐기물은 부피감용을 한다. 만약 감용 대상 폐기물이 소량 발생되면 장치개발 등의 고비용으로 인하여 감용기술의 적용이 경제적이지 못하다.

농축기술과 변환기술의 경제성은 발생된 폐기물을 대상으로 농축과 변환기술들에 대한 감용효

과와 경제성을 분석하여 적합한 처리기술을 선정한다. 가연성 폐기물이라 하여도 배기가스의 성분
에 따라 배기체 처리시스템의 추가 여부 등이 경제성에 큰 영향을 미치기 때문에 사전 분석연구
가 필연적이다.

그리고 고정화 여부는 변환기술의 적용 후에 나오는 소각재 등은 처분을 위해 고정화 하여야
하나, 용융에 의한 용융염은 바로 처분이 가능하다.

3. 가연성 고체폐기물의 관리

가연성 고체폐기물은 현장제염이나 통로 제염에서 발생하는 제염휴지, 작업자가 착용하는 작업
복, 장갑 그리고 마스크 등이다. 발생하는 폐기물의 방사능 농도는 최대 Cs-137 748Bq/g으로 측
정되었고, 추후 소각처리를 위하여 200 L 드럼에 압축 저장하고 있다. 압축성 폐기물의 압축을 위
하여 최대압력은 15톤의 압축기를 설치하여 처리하고 있다.

4. 비가연성 고체폐기물의 관리

비가연성 고체폐기물은 방사화 폐기물과 비방사화 폐기물로 그리고 금속성 폐기물과 비금속성
폐기물로 구분하여 처리하고 있다. 방사화 폐기물은 준위와 재질별로 포장용기에 포장하고 비방사
화 폐기물은 제염 여부를 결정하여 제염 처리하고 있다.

4-1 비금속성 폐기물

비금속성 폐기물은 주로 콘크리트 폐기물이 차지하는 데 제거된 콘크리트 블록의 표면이
Co-60이나 Cs-137로 약 10^{-2} Bq/g 정도 오염되어 발생되고 있다. 오염된 콘크리트 블록은 Peening
Preparation Tools로 1 - 3 mm 표면제염으로 오염부위를 제거할 수 있었다.

4-2 금속성 폐기물

발생되는 금속성 폐기물의 재질은 주철을 포함한 철재, SUS, 그리고 알루미늄 등이다. 원자
로 내에서 사용되었던 일부 금속류는 방사화 되어 있고, 기타 주변 시설에서 사용되었던 금속성
폐기물은 제염대상 폐기물로 분류된다.

4-2-1. 제염대상 폐기물

제염대상 폐기물의 발생은 실험실 및 동위원소 생산용 준비실에 설비되어 있던 흡-후드, 각종
실험 장비, 동위원소 생산용 납함셀에 설비되었던 장치와 보조기구, 원자로 내외에 설비된 각종
보조기구 및 실험장비, 그리고 배기시스템의 덕트와 폐수 수송(저장) 시스템의 싱크와 각종 파이
프 등이다.

금속성 폐기물의 제염을 위하여 화학제염, 초음파 제염, 그리고 스팀 jet 장치등을 설치하여 대
상물의 재질과 오염상태에 따른 제염제와 조업조건을 구하여 운영하고 있다.

알루미늄과 탄소강의 방사성 폐기물을 제염하기 위하여 옥살산을 이용한 화학제염과 초음파
제염실험을 수행하였다. 부식 산화물의 용해에 효과적인 것으로 알려진 옥살산의 화학 침수 실험
결과 알루미늄은 5%의 농도에서 80℃에서 1시간 화학제염 후 4분간 초음파를 쏘여 ND 값, 즉 규
제치 이하의 폐기물 수준으로 처리할 수 있었다. 표면 부식이 심한 탄소강은 제염전 1060 cpm인
것이, 5%의 옥살산으로 80℃에서 1시간 화학제염 후 4분간 초음파를 쏘여 408 cpm을 얻었다. 탄
소강의 경우 화학 제염후 초음파 시간을 4분 이상으로 하면 408 cpm보다 낮은 방사능준위를 얻

을 수 있을 것으로 판단된다.

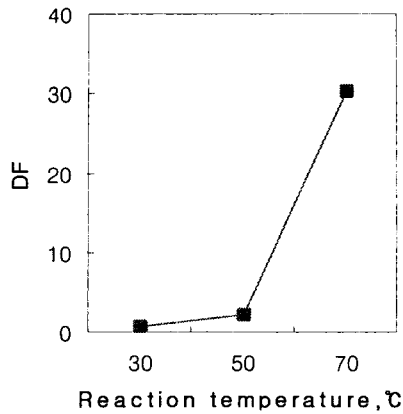


Fig.2 Decontamination effect on reaction temperature at Al

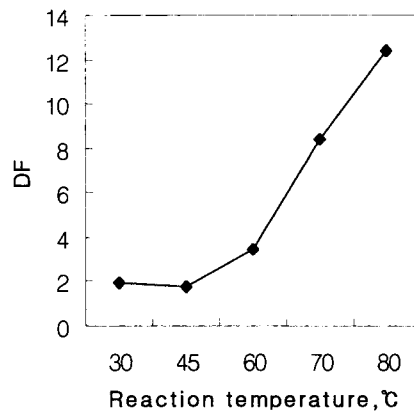


Fig.3 Decontamination effect on reaction temperature at CS

주철 배관 내부의 scale에 함유된 방사성물질을 제염하기 위하여 산이나 알칼리에 쉽게 용해되지 않는 scale을 인산으로 처리하여 $FePO_4$ 로 변화시킨 후, 이를 염산으로 처리하여 용해시켰다. 1단계 처리공정인 인산피막 형성 과정에서 H_3PO_4 의 적정 농도는 30~40%로 제염 후 방사성 핵종인 Co^{60} 의 농도는 0.03Bq/g이며, 제염계수는 41~60으로 제염효과를 나타내었다. 2단계 처리공정인 인산피막을 HCl에 용해시키는 방법으로 HCl의 적정농도는 7~10%이며, 제염 후 방사성 핵종인 Co^{60} 의 농도는 0.03Bq/g이며, 제염계수는 41~48을 보였다. HCl의 농도가 10%이상에서는 제염효과가 떨어지므로, 진한염산 사용 시 제염이 잘 안되는 것으로 나타내었다.

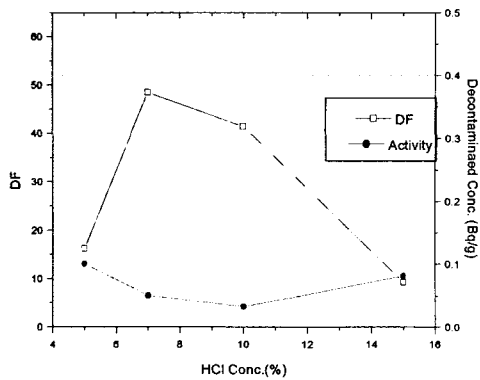


Fig.4. DF coefficient and decontaminated Co^{60} concentration against HCl concentration.

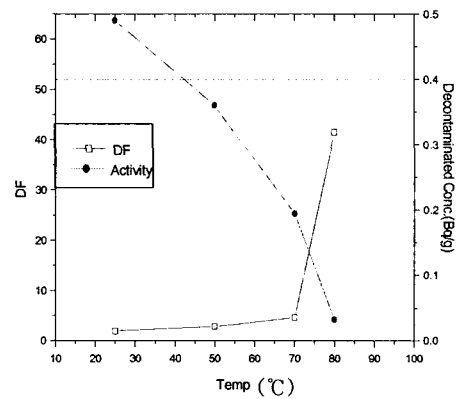


Fig. 5. DF coefficient and decontaminated Co^{60} concentration against temperature.

4-2-2. 방사화 폐기물

원자로 core와 회전시료 조사대 그리고 동위원소 생산용 조사 파이프와 기타 보조 장비를 이루고 있는 금속성 폐기물이 방사화 되어 발생하고 있다. 재질은 대부분이 알루미늄이고 일부 SUS가 방사되고 있으며, 방사능은 수백 mSv/h까지 측정되고 있다.

발생된 방사화 폐기물은 방사능 준위가 1~50 mSv/h에 해당하는 폐기물은 직경 0.95m x 높이 0.6m 용기에 넣어 RSR 운반 캐스크에 저장하고, 50 mSv/h 이상의 폐기물은 직경 33 cm x 높이 85 cm 용기에 넣어 핵연료 운반 캐스크에 저장 한다.

5. 결 론

비정상 방사성폐기물 처리기술 선정에 영향을 주는 중요 인자중 하나는 폐기물의 물리적 형태이다. 본 연구에서는 액체, 함수 고체, 그리고 건조 고체 등의 3가지 물리적 형태로 방사성 폐기물을 분류하고, 각각의 폐기물에 대해 처리시스템을 확립하였다. 비정상 폐기물의 특성분석 및 적절한 분류는 폐기물 처리기술 선정에 매우 중요한 인자이다. 이러한 평가는 원자력시설 제염·해체 과정에서 비정상 방사성폐기물이 발생하였을 때, 이의 처리기술 선정 및 관리에 커다란 도움을 줄 것이다.

후 기

본 연구는 한국원자력연구소 기관고유사업의 일환으로 수행한 것입니다.

참 고 문 헌

1. 정기정 외, "연구용 원자로 폐로사업", KAERI/RR-1993/99, 한국원자력연구소, 1999
2. 정기정 외, "연구로 1호기 및 2호기 해체계획서 - 수정·보완", KAERI/TR-1654/2000, 한국원자력연구소, 2000
3. 정기정 외, "연구용 원자로 폐로사업", KAERI/RR-2099/2000, 한국원자력연구소, 2000
4. International Atomic Energy Agency, "Treatment of Low- and Intermediate-Level Radioactive Waste Concentrates", Tech. Rep. Series No. 82 (1982)
5. International Atomic Energy Agency, "Management of Radioactive Waste from Nuclear Power Plants", Safety Series No. 69 (1985)
6. International Atomic Energy Agency, "Treatment of Low- and Intermediate-Level Radioactive Waste Concentrates", Tech. Rep. Series No. 236 (1984)
7. International Atomic Energy Agency, "Treatment of Low- and Intermediate-Level Radioactive Waste Concentrates", Tech. Rep. Series No. 223 (1983)
8. International Atomic Energy Agency, "Management of Abnormal Radioactive Wastes at Nuclear Power Plants", Tech. Rep. Series No. 307 (1989)