

방사성고체폐기물의 감용을 위한 처리방법

양승열, 서항석, 이형권, 엄성호, 전용범
한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지
nsyyang@kaeri.re.kr

1. 압축 감용

압축 감용법은 폐기물을 기계적으로 짓눌러 찌그러뜨려 용적을 줄인다. 이것은 폐기물 자체의 용적을 작게 함으로써 용기 하나에 들어가는 폐기물의 양을 늘리고, 그 결과로 전체 폐기물의 용적을 낮게 억제하는 방법이다. 압축처리는 소각처리나 기타 처리가 적합하지 않은 경우에 효과적이며 현재 널리 사용되고 있다. 핵주기시설에서 발생하는 중, 저준위 고체폐기물의 70~80%가 압축처리가 가능하나 폐기물의 조직이 너무 치밀하고 단단하여 부피감소를 무시할 수 있거나 극히 작은 것 또는 압축기 및 압축용기를 손상시킬 수 있는 물질, 인화성 및 폭발성 물질, 액체를 함유하고 있는 물질은 압축처리 할 수 없다. 압축처리에 사용되는 압력은 4.5톤에서 1,500톤으로 다양하며, 사용 압축력이 100톤 미만일 때는 저압압축, 그 이상일 때는 고압압축이라 한다. 압축처리 할 때 얻을 수 있는 감용비는 3~10정도이다. 국내 원자력발전소에서는 기존의 10톤 압축기로 1차 압축하여 생성된 폐기물드럼을 2,000톤 용량의 초고압압축기로 재 압축하여 잡고체폐기물의 최종 발생량을 감소시키고 있다. 드럼 내에 수집된 폐 필터는 60톤 압축기로 압축하여 감용한다.

2 소각처리

원자력시설에서 발생하는 방사성고체폐기물중의 상당부분이 가연성 물질로 구성되어 있어 이를 소각처리 할 경우 감용비는 약 40~100 정도이다. 소각처리는 이와 같이 폐기물의 감용효과가 클 뿐 아니라 폐기물의 불활성 또는 반응성이 작은 소각재의 형태로 전환시켜, 추후 수송 및 저장시의 문제 발생을 감소시켜 주므로 미국을 비롯한 원자력 선진국에서 과거 수십년이상 시행되어 왔다. 소각공정은 원리는 간단하나 폐기물의 불완전연소, 배기체 처리시스템의 과도한 부식, 필터 및 기타 배기체 장치에 타르 및 매연의 오염, 배기체 처리효율 저하, 방사선 환경 하에서의 소각기 조작에 따른 기계적 문제 등이 제기되고 있어 이를 해결하기 위한 연구개발이 진행중에 있다. 도시 폐기물이나 산업폐기물의 처리에 이용되는 것과 같이 방사성폐기물의 소각처리 목적은 가연성 폐기물의 감용, 무기안정화 및 유기물의 회수에 있으며 특히 감용효과가 크다. 소각처리는 발생량이 많은 가연성 잡고체의 대량처리에 적합할 뿐 아니라 달리 적당한 처리방법이 없는 동물사체나 오염의 처리방법으로 좋다. 또 소각재는 무균이고 불연성이며 분해가 어렵고, 안정한 고화체를 만들기 쉬운 점 등 폐기물 처분상 매우 좋은 장점을 갖고 있다.

3. 용융

프레스를 사용하여 기계적으로 압축 감용 하는 방법에는 한계가 있기 때문에 기계적이 아니라 열적으로 감용을 꾀하는 용융처리 라고 하는 방법이 있다. 이것은 기계로 눌러 찌그러뜨린다는 미적지근한 방법이 아니라, 전기로에서 단숨에 녹여서 금속덩어리로 만드는 것으로 방사능 준위가 낮은 금속폐기물을 제염, 용융(smelting)처리한 후 방사능을 측정하여 무 구속한계의 이하임을 확인하여 재사용하는 방법이다. 용융처리에서는 폐기물 중의 일부 방사성폐기물을 제거할 수 있는 장점도 있다. 이것은 슬래그 제염이라고 하는 것으로 폐기물을 적당한 용융온도로 하여, 그때 용점이 낮은 불순물을 슬래그로서 제거하고 비등점이 낮은 불순물을 기화시켜서 금속 덩어리 밖으로 내보낸다는 것이다. 그 결과 용융 처리된 금속의 방사능 농도를 그만큼 줄일 수 있는 것으로 기대된다. 또한 이상의 장점 이외에 잘 제거되지 않았던 Co-60 등 방사성물질에 대해서는 금속덩어리 중에서 균일하게 혼합 분포시키면 내부에 분포된 방사성물질로부터의 방사선이 금속자체의 차폐효과에 의해 표면에 이르기까지 자연히 약화되는 효과(소위 자기차폐 효과)가 기대된다. 이와 같이 용융처리는 감용 효과뿐만 아니라 폐기물의 방사능농도 그리고 표면의 방사선강도를 내리는 효과도 기대할 수 있어 일석이조 이상의 일을 하는 폐기물처리기술로서 유망시 되고 있다.

4. 고화처리

1). 시멘트 고화 (Cementation)

시멘트 고화법은 중, 저준위 방사성폐기물의 고화방법으로 가장 많이 사용[8]되고 있으며 주로 고체를 많이 함유하고 있는 슬러지, 농축폐액, 소각재, 이온교환수지 등을 처리하는데 적합하다. 이때 사용되는 시멘트는 ASTM type I 과 ASTM type II이며 시멘트에 대한 폐기물의 중량비는 20~30% 정도이다. 시멘트 고화시 방사성 핵종이 Sr, Pu, Am인 경우에는 핵종이 시멘트내에 잘 결합되어 있기 때문에 좋으나 Cs, Ru인 경우에는 핵종의 침출율이 상당히 높아 이에 대한 대책이 필요하다. 시멘트와 폐기물의 혼합방법으로는 in-drum 혼합방식과 in-line 혼합방식이 있다.

2). 아스팔트 고화 (Bituminization)

아스팔트 고화공정은 폐기물의 고화 매체로서 아스팔트를 사용하는 공정으로서 100℃ 이상의 아스팔트와 방사성폐기물을 혼합시켜 고화시키며, 이때 폐기물내에 함유된 수분의 99.5% 이상이 증발되고 나머지 폐기물과 아스팔트가 저장용기에 담겨져서 냉각된다. 최종 생성물의 조성은 아스팔트 60%, 폐기물 40% 정도이다. 최종 고화체의 표면선량율은 시멘트 고화체보다 높으나 시멘트 고화체에 비해 강도가 낮으며, 물과 접촉시 팽윤현상을 나타내는 점이 단점으로 지적되고 있다. 현재 사용되고 있는 아스팔트 고화공정중 대표적인 것은 회분석공정, extruder공정 및 박막증발공정이 있다.

5. 제염 재활용

오염된 기기나 장비의 제염은 앞에서 언급한 절단, 소각, 압축 등과 같은 감용처리와는 다른 방사성폐기물 저감뿐 만 아니라 자원의 재이용을 목적으로 함과 동시에 폐기물의 운반이나 보관 관리 등 취급을 용이하게 하는 것을 목적으로 하는 것이다. 방사능에 의한 오염정도가 미미하거나 고가의 장비인 경우에는 폐기하지 않고 재사용 또는 재활용하여야 한다. 최근에 방사성폐기물의 발생량을 줄이는 방안으로 제염의 필요성이 대두되고 있으며 가까운 장래에 처분장의 건설과 폐기물의 효과적인 감용처리가 수행되지 않은 한 적극적인 제염을 통하여 폐기물의 발생량을 최소화할 수 있는 기술축적이 선행되어야 한다. 제염기술은 각 분야의 모든 기술이 요구되는 공학적 기술분야로서 최근에 원자력산업에서 급속하게 성장하고 있는 기술이다. 이 기술은 인체피폭 저감과 방사성폐기물 처리비용 절감의 대안으로서 현재까지 원자력 선진국가에서 많은 연구개발이 진행되어 개발된 기술을 상용화하여 이용하고 있다.

6. 절단

절단처리방법에는 전극과 피절단물 사이에 플라즈마아크를 발생시켜, 동작가스를 전리시킴으로써 고온상태를 얻어 피절단물을 국부적으로 가열 용융해서 절단하는 플라즈마아크 절단법과 고속회전(300~1,200rpm)하는 블레이드와 피절단물 사이에 고전류 아크를 발생시키고, 피절단물을 국부적으로 용융하여 블레이드의 회전으로 용융물을 제거 절단하는 아크톱 절단법, 회전하는 원판상, 또는 주행하는 밴드톱형 전극과 피절단물 사이에 직류전압을 걸어서 발생하는 아크열을 이용해 용융 절단하는 방전가공 절단법, 소모전극인 와이어를 보내면서, 절단물과의 사이에서 아크를 발생시켜서 노즐에서 고압 물제트를 분사하여 용융금속을 불어 날리면서 절단하는 용극식 물제트 절단법 등의 전기 에너지 절단과 가스화염(산소, 아세틸렌염 등)으로 절단부를 예열시켜 점화구 중심에서 산소를 분사하여 철을 산화 연소시키면서 절단하는 가스절단, 원반형 카터날을 피절단부에 대고 날끝이 피절단부를 파고 든 상태에서 이동시킴으로써 절단하는 물리적 절단, CO₂ 가스등의 레이저광선을 발생물질인 구성원자를 여기 시켜서 발생한 레이저광을 렌즈로 집속시켜 에너지 밀도가 높은 열원으로 대상물을 절단하는 레이저 절단법이 있다.

7. 파쇄처리

가연성 잡고체중에는 폴리에틸렌 통이나 호스, 튜브 같은 내용물이 없는 상태에서 공간만 차지하는 폐기물이 있다. 또한 폴리에틸렌 통은 압축처리 할 경우 스프링백이 커서 실제로 감용율이 크지 않다. 따라서 이들 빈 용기를 포장용기 내에 그대로 넣으면 부피만 차지함으로 조금 밖에 집어 넣지 못한다. 이와 같이 연질의 종이류나 플라스틱류의 폐기물은 용기에 수집하기 전, 또한 소각처리 하기 전에 파쇄기에 넣고 잘게 썰어 부피를 축소하는 방법을 사용하는 것이 효율적이다.