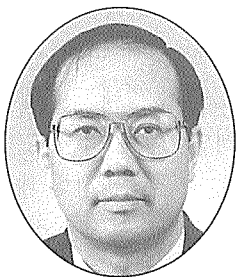


동

향

방사성 폐기물 유리화 기술



송 명 재

한전 원자력환경기술원, 연구개발실장

방사성 폐기물

우리나라에는 현재 모두 16기의 원자력발전소가 가동중에 있다. 이들 원자력발전소에서 생산해 낸 전기덕분에 우리는 지난 한 여름을 잘 지냈다. 에너지 자원이 거의 없는 우리나라에서 원자력은 대단히 소중한 자원이다. 그렇지만 모든 공장이나 산업현장에서와 마찬가지로 원자력발전소도 폐기물을 생산하지 않을 수 없다. 다행히 원자력발전소에서 생성되는 폐기물의 양은 다른 공장에서 발생하는 폐기물의 양보다 훨씬 적기는 하다. 하지만 원전의 폐기물이 방사성 폐기물이라는 점에서는 상당한 안전관리가 요구되고 있다. 원전에서 생성되는 방사성 폐기물을 안전하게 잘 관리하는 기술은 확보되어 있으나 우리나라에는 아직 이를 영구처분할 수 있는 방사성 폐기물 처분장이 없는 실정이다. 지금 정부에서는 방사성 폐기물 처분장 확보에 많은 노력을 하고 있다.

우리나라에서 방사성 폐기물이 영구 처분장 확보에 많은 어려움을 겪고 있는 이유는 여러 가지이다. 그 중의 하나는 방사성 폐기물 처분의 안전성에 대한 홍보가 미흡하다는 것이다. 사실 원전에서 생성되는 중·저준위 방사성 폐기물 처분의 안전성은 이미 확보되어 있고 선진국에서도 오랫동안 안전하게 처분한 실적이 많이 있다. 그럼에도 불구하고 국내의 일부 단체나 주민들은 방사성 폐기물의 위험성을 들어 처분장 설치를 반대하고 나섰다. 앞으로도 방사성 폐기물 처분장의 안전성에 대해서는 꾸준한 홍보를 해야 한다.

방사성 폐기물의 유리화 기술은 방사성 폐기물 처분의 안전성을 한층 더 향상시키고 또 처분장의 이용 효율을 대폭 증감시킬 수 있는 기술이

다. 방사성 폐기물을 고온에서 분해하여 방사성 물질만을 대단히 안정된 유리 구조 속에 가두어 두는 유리화 기술은 방사능 유출을 극소화하고 방사성 폐기물의 부피를 대폭 줄이는 첨단 기술이다.

유리화 기술

유리는 기본적으로 규소(SiO_2)를 주축으로 하여 알루미늄, 산화 나트륨 또는 보론이나 약간의 철, 납, 크롬 등의 금속 원자가 가미된 혼합물이다. 유리는 유리 분자에 들어 있는 성분의 조성에 따라 소다석회 유리, 붕규산유리 및 납유리 등으로 분류되기도 한다. 이중 붕규산 유리는 특이한 성질을 가진다. 유리속에 붕소가 들어가면 유리의 분자간 결합이 깨어진다. 따라서 유리의 점도가 낮아지고 깨진 결합 사이에 공극이 발생한다.

이러한 붕규산 유리의 특성을 잘 이용하면 방사성 폐기물 속에 들어있는 방사성 핵종을 유리 구조 속에 안정되게 가두어 둘 수 있다. 유리는 물리·화학적 특성이 아주 좋다. 따라서 일단 유리구조 속에 갇힌 방사성 핵종은 좀체로 밖으로 빠져 나오지 않는다. 설령 유리가 깨져 산산 조각이 나더라도 방사성 핵종은 유리에서 빠져나가지 않는 것이다.

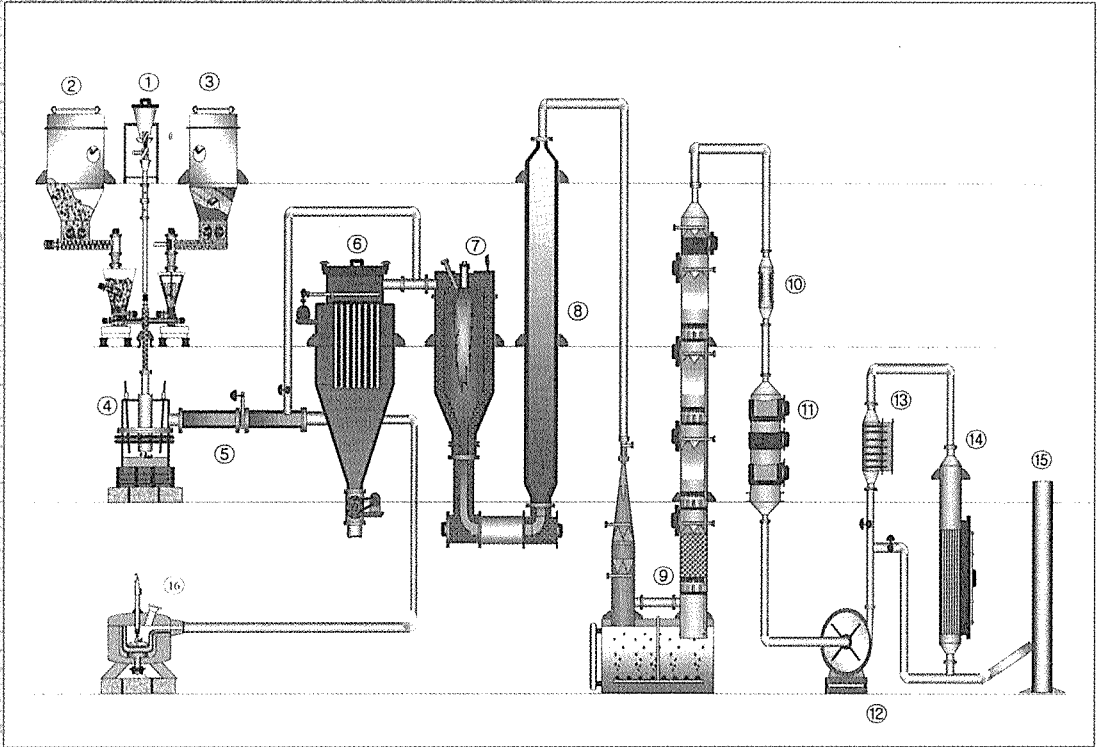
유리의 이러한 성질 때문에 미국의 환경청에서는 방사선의 세기가 아주 높은 고준위 방사성 폐기물처리에 유리화 방법이 가장 이상적인 방법이라 하였다. 따라서 이미 프랑스나 영국 등에서는 고준위 방사성 폐기물을 유리화하는 기술을 개발하였고 이는 상용화되어 성공리에 사용되고 있다. 유리화하는 고준위 방사성 폐기물은 주로 핵연료 재처리 후 발생되며 액체 형태로 많은량

의 핵분열 생성물을 포함하고 있다. 이 액체를 증발시켜 분말화하여 유리 재료와 섞어서 높은 온도에 구우면 유리 제품이 생성되며 이를 '고준위 방사성 폐기물의 유리화'라고 한다.

고준위 방사성 폐기물의 유리화는 방사선 준위가 높아 원격제어 설비나 자동제어 장치가 많이 필요한 반면 화학적으로 폐기물의 성분이 일정하여 유리화 공정 자체는 그리 어렵지 않다. 상업적으로 유리화 기술은 현재까지는 고준위 방사성 폐기물 처리에만 적용되어 왔고 중·저준위 방사성 폐기물에는 적용되지 않고 있다.

그 이유는 과거에는 중·저준위 방사성 폐기물을 용기에 담아 그저 처분장에 매립하는 것이 일반적인 추세이었으므로 중·저준위 방사성 폐기물 유리화 기술 개발 필요성이 대두되지 않았기 때문이다. 그러나 지금은 전 세계적으로 NIMBY현상이 두드러져 방사성 폐기물의 처분 부지를 확보하기 어렵고 또 기존 부지도 점점 고갈되는 형편이어서 방사성 폐기물의 부피를 대폭 줄이고 폐기물이 환경에서 유출되지 않는 안정한 형태로 만드는 기술이 절실히 필요하게 되었다. 이러한 요구에 가장 적합한 처리 기술로서 유리화 기술이 대두되었다. 하지만 중·저준위 방사성 폐기물의 유리화는 고준위 방사성 폐기물의 유리화보다는 더 복잡한 기술이다.

고준위 방사성 폐기물은 물리적으로 단순하고 화학적 조성도 항상 일정한데 비해, 중·저준위 방사성 폐기물은 물리적 형태도 다양하고 또 화학적 조성도 복잡하여 배기까지 처리가 상당히 어렵다. 따라서 중·저준위 방사성 폐기물 유리화 기술을 상용화하기 위해서는 적절한 유리 조성에 대한 연구와 배기가스 처리 연구가 선행되어야 한다.



- | | | |
|-------------------|-----------------------|--------------|
| ① Glass frit 공급장치 | ② DAW 공급장치 | ③ Resin 공급장치 |
| ④ 유도가열식 저온로 | ⑤ Pipe Cooler | ⑥ 고온필터 |
| ⑦ 후단연소기 | ⑧ 배기체 냉각기 | ⑨ 급냉/세정기 |
| ⑩ 재열기 | ⑪ 활성탄 필터 | ⑫ 배기팬 |
| ⑬ 재열기 | ⑭ NO _x 제거기 | ⑮ 기체 배출구 |
| ⑯ 플라즈마 용융로 | | |

그림1. 유리화 실증 설비 개략도

한전의 유리화 기술 개발

한전에서는 일찍이 1994년에 중·저준위 방사성 폐기물 유리화 기술개발 계획을 수립하였다. 우선 실험실에서의 기술 증명, 실증 시설을 이용한 기술 실증 및 유리화 설비 상용화 연구 등

3단계의 연구계획을 수립하고 그 해 11월 1단계 연구에 들어갔다. 원전의 방사성 폐기물은 가연성과 비가연성으로 구분하고 가연성 폐기물의 유리화는 전극을 사용하지 않은 전기로를 사용하고 비가연성 폐기물은 고온의 플라즈마용융로

로 처리하는 개념을 세웠다. 이러한 개념은 당시 전 세계적으로 고온 용융 연구팀들이 한 개의 용융로를 이용하면 모든 종류의 폐기물을 한 번에 처리하려던 연구 개념과는 완전히 다른 것이었다. 기술개발의 성공 가능성을 높이기 위해 고안해낸 독자적인 개념이었다. 이 개념은 후에 특허출원으로까지 연결되었다. 두 용융로에서 생성되는 배기체는 한 개의 계통으로 처리함으로써 설비의 경제성을 향상시켰다.

가연성 폐기물은 주로 산소, 수소, 탄소 등으로 구성된 유기물이고 비가연성 폐기물은 규소나 금속 등이 대부분을 차지하고 있어 그 화학적 특성이 판이하게 다르다. 따라서 자연히 유리 조성에 큰 차이가 있어 이를 별도 구분하지 않고 통째로 유리화 하기란 대단히 어렵다.

우리가 선택한 가연성 폐기물을 유리화하는 유도전류 용융로(CCM)은 프랑스에서 고준위 방사성 폐기물을 처리용으로 개발한 용융로를 개조한 용융로이다.

기존의 용융로는 노 주위의 유도전류자(Inductor)에 의해 가열되는데, 유도전류는 노 벽 주위에서 줄(Joule)열을 발생시키며, 발생된 열은 전도에 의해 유리로 전달된다. 그러나 우리가 사용하는 용융로는 유도전류자의 코일에 의해 둘러싸이고, 전자기장의 상대적인 투과성을 확보하기 위해 스테인리스강으로 만들어진 직사각형 판을 여러 개 연결하여 원통형으로 만들고 판 사이에는 운모 절연체가 삽입되어 있다.

유리용융로를 이용하여 처리할 수 있는 폐기물은 폐수지, 가연성 폐기물, 봉산농축폐액 등으로서 금속의 함유량이 지나치게 많지 않다면 모든 고체 및 액체 폐기물을 처리할 수 있다.

폐수지 및 가연성의 경우에는 용융유리 위에

직접 투입하고 잉여산소를 불어넣어 완전연소시켜 유독성 및 폭발성 기체의 생성을 최소화하면서 중금속을 산화물로 전환시켜 용융유리 속에 침투시키게 된다.

봉산폐액은 건조기에서 건조시킨 후 분말형태로 용융유리 위로 투입한다. 봉산폐액 건조물은 경우에 따라 가연성 폐기물 처리에 필요한 붕규산 유리의 유리 형성제로 사용될 수 있다.

비가연성 폐기물 유리화에 사용되는 플라즈마 용융기술은 1950년 이래로 발전하였으며 미국, 프랑스 등에서는 병원 폐기물, 석면 폐기물, 생활 폐기물 소각재의 용융처리에 응용하고 있으나, 방사성 폐기물 처리 기술은 개발단계에 있다.

한전의 플라즈마 토치 시스템의 용량은 200kW로서 고온의 플라즈마 기체로부터 발생되는 줄열 또는 유도 전류에 의하여 발생된 플라즈마 아크로에서 발생하는 에너지를 사용하여 유기성분을 기체화하고 무기물을 용융시키는 시스템이다.

이 플라즈마 토치 용융로는 배치 타입으로 운전되며, 원전에서 발생되는 콘크리트, 모래, 페펄터 등을 처리하는 연구를 수행할 수 있도록 설계되어 있다. 파일럿 플랜트에 채택된 플라즈마 토치는 이송식과 비이송식 운전 모두가 가능한 토치이고 플라즈마 기체로는 질소를 주로 사용한다.

실증 설비

연구를 통해서 그림-1과 같은 설비의 개념도를 완성하여 유리화 실증 설비 건설에 들어갔다. 1999년 7월 마침내 실증 설비를 완성하고 4개월 간에 걸친 성능시험 결과 유리용융로(그림-2)를

포함한 모든 설비가 정상 동작하고 있음이 확인되었다. 따라서 동 설비를 이용한 원전의 방사성 폐기물과 유사한 성분을 가지는 모의 폐기물 유리화 실험에 들어갔다. 원전의 폐기물중 유리화가 가장 어려운 이온교환 수지의 유리화 시험을 먼저 수행했다. 수지의 종류에 따라 적절한 유리 조성을 선정하고 수지 주입 용량을 변경시켜 가면서 유리화 공정을 살펴 보았다. 배출되는 용융 유리의 특성과 발생하는 배기체의 특성이 조사되었다. 여러 차례의 시험을 통해 최적 공정을 찾아냈고 그 결과 폐이온 수지를 성공적으로 유리화할 수 있었다.

원전에서 발생하는 폐기물 중에서 가연성 잡고체가 차지하는 비율은 대략 40~50wt% 정도이고 이들 가연성 잡고체는 원전의 운영 및 유지·보수중에 발생하는 방호복·비닐 시트·제염지·목재 등 다양한 성분들로 이루어져 있다.

본 실증 시험에서는 이러한 가연성 잡고체 중에서 가장 발열량이 높은 폴리에틸렌을 대상으로 최적 연소 조건을 평가하였으며, 그 결과를 토대로 발열량이 낮은 셀룰로스 유리화 실증 시험을 성공적으로 수행하였다(그림-3).

폐기물 종류별 유리화 시험을 성공적으로 수행한 후 평균 조성의 가연성 잡고체를 대상으로

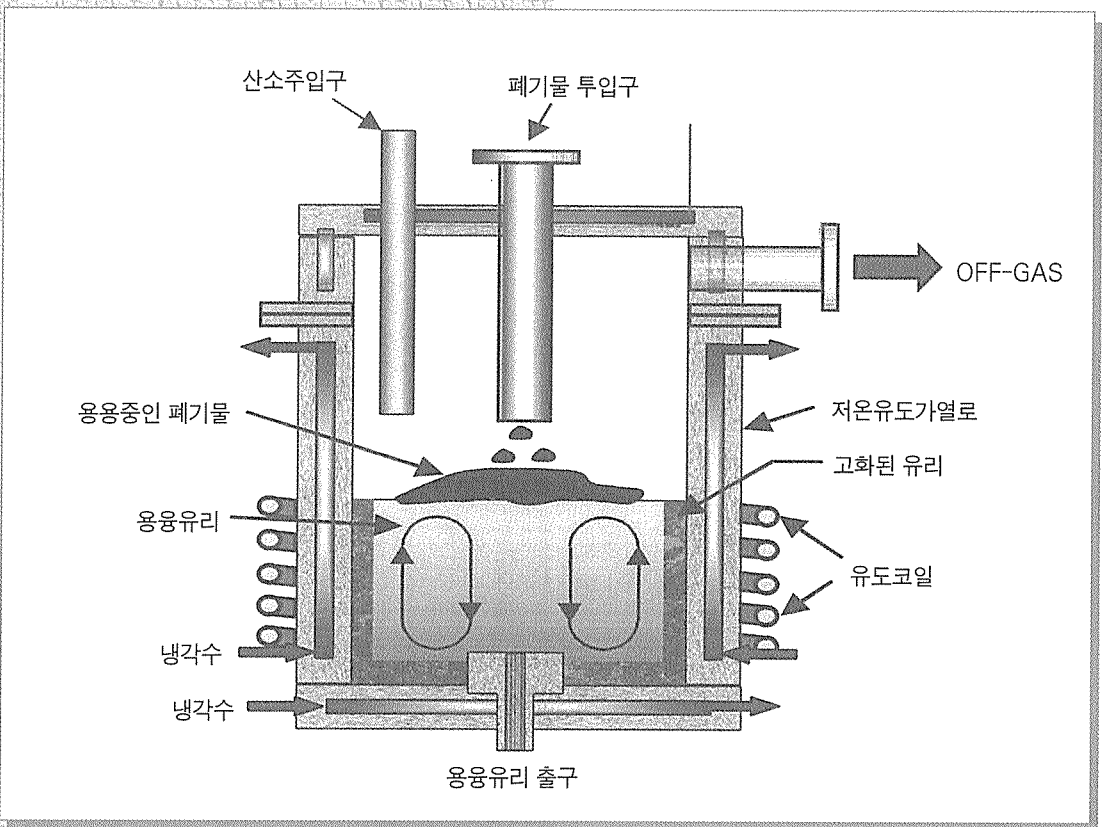


그림2. 유도 가열식 유리화 용융로



그림3. 방호복의 유리화

최적 산소량 조건과 최대 처리 용량 평가 시험을 수행함으로써 유리화 기술의 상용화 기틀을 마련하였다.

전망

· 현재까지 유리화 기술 개발은 성공적으로 수행되었고 앞으로는 각종 운전 변수를 찾고, 설비의 내구성을 검증하며 유지 보수의 편의성을 제고하면서 방사선 차폐 설비를 추가하면 상용 설비에 대한 준비가 끝날 것이다.

지금의 계획에 따르면 2005년경부터는 상용 설비 운영을 할 수 있지 않을까 생각한다. 상용

설비가 운전되어 원전의 방사성폐기물을 모두 유리화 한다면 1,000MW급 원전 1기에서 1년에 생성되는 유리화된 방사성폐기물의 양이 30~40드럼 이하가 되어 폐기물 부피 감용에 혁신적인 공이 세워질 것이다.

또 유리화된 방사성폐기물은 처분시 주변 환경에 미치는 영향이 거의 없어 가히 환경친화적인 폐기물 처리 기술이라고 할 수 있다. **KRIA**