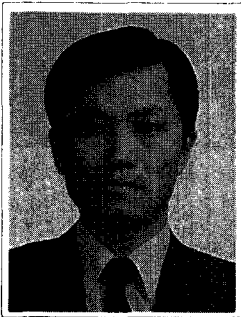


# 잡고체 방사성 폐기물 가열 압축 장치

고 규 군

한전 고리원자력본부 제2발전소 소장



한전 고리원자력본부 제2발전소는 최근 잡고체 방사성 폐기물 가열 압축 장치를 개발하였다. 잡고체 방사성 폐기물 가열 압축 장치는 원자력발전소에서 발생하는 염화비닐(PVC), 폴리에틸렌(PE) 같은 비닐류와 관리 구역 작업복, 타이곤 호스 등의 가연성 잡고체 방사성 폐기물에 130°C~160°C의 열을 가한 후 압축·고화 처리하는 장치로서, 기존 압축 처리 방식의 '뒤튀김(rebound) 현상'을 없애므로 가연성 잡고체 발생량의 약 50%를 감소시킬 수 있을 것으로 기대되고 있다.

**가** 정에서는 생활 쓰레기가 발생되고 산업 시설에서는 산업 폐기물이 발생된다.

마찬가지로 원자력발전소에서도 산업 폐기물이나 생활 쓰레기에 비해 그 양은 많지 않으나 운영상 불가피하게 고체형의 방사성 폐기물이 발생되며, 그 대부분이 방사성 폐기물에 함유된 방사능의 세기가 아주 약한 중·저준위 방사성 폐기물이다.

## 방사성 폐기물 관리

우리가 가정에서 나오는 쓰레기를 줄이기 위해 재활용품을 분리 수거하고 쓰레기 봉지에 넣는 양을 최대한 하기 위한 노력을 하듯이, 원자력발전소에서도 발생된 자체를 극소화하기 위한 관리 기법상의 노력과 감용 설비를 도입·운영하고 있다.

원자력발전소에서 발생하는 중·저준위 방사성 폐기물은 처리 및 처분시 안전성과 건전성이 반드시 확보되어야 하고, 그렇게 되기 위해서는 발전소 내 초기 작업 공정에서부터

신뢰성과 안전성 있는 기술로서 처리되어야 한다.

우리는 방사성 폐기물을 '방사물'이란 순화된 이름으로 바꾸어 부르고 있다.

이왕이면 부르기 좋고 듣기 좋은 이름인 방사물을 사랑(?)하고 보살피 잘 관리하는 것이야말로 원자력 발전의 신뢰도를 향상시키고 원전 사업에 뒷받침하는 진정한 길이 아니겠는가.

## 잡고체 방사물 가열 압축 장치의 개발 필요성

원자력의 평화적 이용은 원자력 발전을 통한 전기 에너지로 이용될 뿐만 아니라 의료·공업·농업 분야에 까지 폭넓게 자리잡아 가고 있다.

천지(天地)의 이치로 음양(陰陽)이 공존하듯이 원자력을 이용하는 데 있어서도 양과 음이 있는 듯하다.

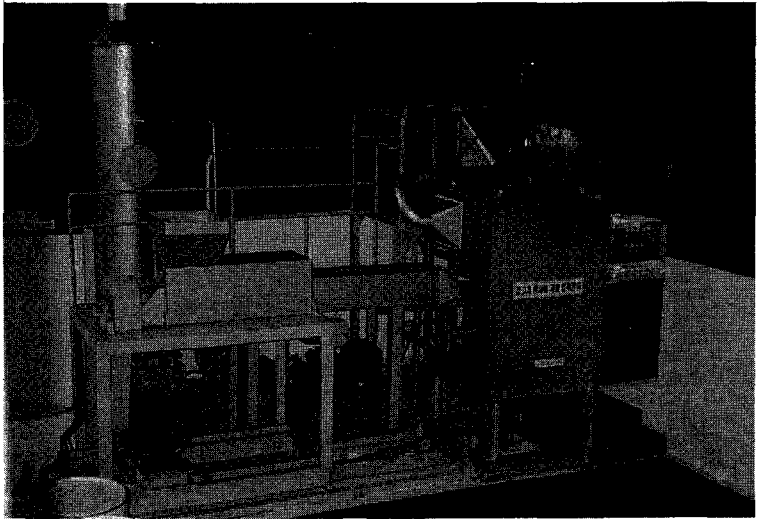
에너지의 활용이 양(陽)에 해당된다면 원자력발전소 운영중 발생하는 방사물은 또다른 한 쪽인 음(陰)에 속한다고나 할까?

원전의 가동 기수 및 경년 증가에 따라 국내에서 상업 운전중인 11기의 원자력발전소에서 발생된 고체 방사물은 96년 말 기준 53,000여드럼으로 날로 증가 추세에 있으며 중·저준위 방사물 임시 저장고 저장 능력도 한정되어 있는 실정이다.

국내 여러 가지 여건상 고체 방사물 영구 처분 시설 건설을 위한 부지 확보도 난항을 겪어 왔으며, 부지 확보 문제는 우리가 꼭 풀어야 할 숙제로 남아 있는 현재의 상황으로 볼 때, 앞으로도 상당 기간 방사물 드럼을 원자력발전소 부지 내에 임시 저장·관리하여야 하는 어려운 여건에 있다.

고리원자력본부 제2발전소에서는 증가·적체되어 가는 중·저준위 방사물 드럼의 임시 저장 관리에 따른 어려운 문제를 해결하기 위해서는, 전체 드럼 발생량의 70% 정도를 차지하는 잡고체 드럼의 발생을 획기적으로 줄일 수 있는 감용 장치가 필요하다고 판단되어 '잡고체 방사물 가열 압축 장치'를 개발하게 되었다.

방사물을 적기에 안전하게 처리하는 것은 원자력발전소의 안전 운전과 안정적인 전력 공급에 기여할 수 있으며, 특히 잡고체 방사물 가열 압축 장치와 같은 감용 설비의 개발·운영으로 고체 방사물을 감용 처리함으로써 소내 임시 저장 능력 신장, 영구 처분 비용 절감 및 원전 신뢰도 향상 등의 확실한 효과를 거둘 것으로 기



고리 제2발전소에서 개발한 잡고체 방사물 가열 압축 장치

대하며 가열 압축 장치의 개발 내용을 소개한다.

### 개발 경위

원자력발전소 관리 구역에서 발생하는 고체 방사물은 종류별로 폐수지, 폐필터 농축 폐액 및 잡고체로 대별할 수 있다.

〈표 1〉에서 보는 바와 같이 잡고체 드럼이 전체 고체 방사물 드럼의 약 70%를 차지하고 잡고체 중에서도 비닐류와 면·종이류 등이 60% 정도를 점유하고 있음을 알 수 있으며, 발생 및 처리 현황을 살펴보면 다음과 같다.

관리 구역 작업자의 인체 오염 방호를 위하여 사용한 후 버려지는 염화비닐 작업복, 염화비닐 슈즈 커버,

폴리에틸렌, 고무 신발류, 고무 장갑, 면 작업복류와 정비 작업 후에 폐기되는 타이콘 호스, 철제류, 목재류 및 플라스틱 등을 수집하여 가연성과 비가연성으로 분류하여 55갤런 철제 드럼에 넣은 후 약 9톤의 압축력을 가진 압축기(baler machine)로 압축 처리하고 있다.

철제류는 압축 전후에 변형이 거의 없으나 염화비닐·폴리에틸렌 및 면·종이류 등 가연성 잡고체 방사물은 드럼 내에 넣고 압축시 상부 압축판을 때면, 다시 부풀어오름(rebound) 현상이 발생하여 감용 효율이 많이 떨어지고 있을 뿐만 아니라, 드럼 내에 처리된 방사물이 수분을 함유하고 있어 용기(드럼)가 부식될 우려가 있는 등 고화체 건전성 유지에도 장애 요인이 되고 있다.

앞에서 살펴본 바와 같이 가연성 잡고체는 부풀어오름 현상이 발생되는 바람직하지 않은 특성이 있는 반면에, 염화비닐·폴리에틸렌·타이콘호스 및 비닐류와 같은 잡고체는 저온으로 열을 가하면 쉽게 형상이 변화하고 열을 제거한 후 상온으로 떨어지면 단단하게 굳어지는 방사물 처리 측면에서 볼 때 순기능적인 특성을 갖고 있는 점에 착안하여, 현행 압축기(baler machine)에 의한 단순 압축 방식에 가열, 압축 처리 공정을 추가하여 부풀어오름 현상을 해결할 수 있는 '잡고체 방사물 가열 압축 장치' 개발에 착수하게 되었다.

동 장치 개발을 위해 고리 제2발전소에서는 96년도 현장 기술 개발 과제 선정하여 96년 3월부터 97년 3월까지 1년여에 걸쳐 가열 압축 처리할 소재의 특성 평가, 가열 및 압축 조건 시험, 배기 가스 분석 및 처리 방법 등 장치 개발의 타당성 조사 실험을 거쳐 상세 설계 후 장치를 제작하여 고리 4호기 사용후 연료 건물에 설치하고 시운전 및 성능 시험 결과 만족한 결과를 얻었다.

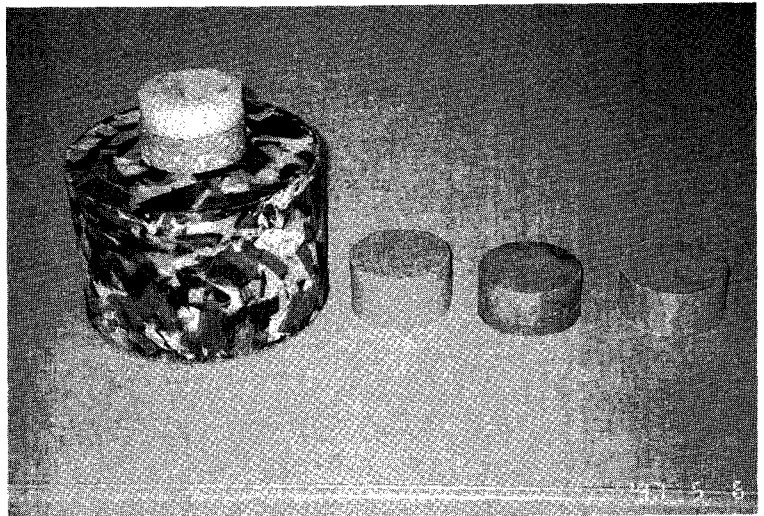
**처리 대상 방사물의 특성 실험**

가연성 방사물의 감용 효과를 고려한 효율적 처리를 위하여 기존의 압축 공정에서 발생되는 부풀어오름 현상을 가열 후 압축 처리 방식으로 해

(표 1) 최근 5년간 발생된 고체 방사물의 종류별 분포

(단위 : 드럼)

드럼 종류 \ 연도	92	93	94	95	96	평균	점유율(%)
농축 폐액 드럼	332	225	185	38	77	171	21
폐수 지 드럼	52	66	54	72	65	62	8
폐 필터 드럼	28	47	12	0	0	17	2
잡고체 드럼	PVC등 비닐류	193	151	166	173	125	20
	면·종이류	218	169	118	118	111	18
	목재류	8	30	9	22	9	2
	철재류	71	47	91	90	89	10
기타	176	212	105	143	123	152	19
계	1,078	947	740	656	599	804	100



타당성 조사 및 실증 실험 고화체

결하여 드럼의 생성량을 최소화하기 위해서 처리 대상 방사물의 화학적 특성 실험을 실시하였다.

특성 실험은 크게 나누어 열중량 분석(TGA Thermo Gravimetric Analysis), 시차 주사형 열분석(DSC Differential Scanning Calorimeter), 열분해 가스 크로마토그래피(GC Gas

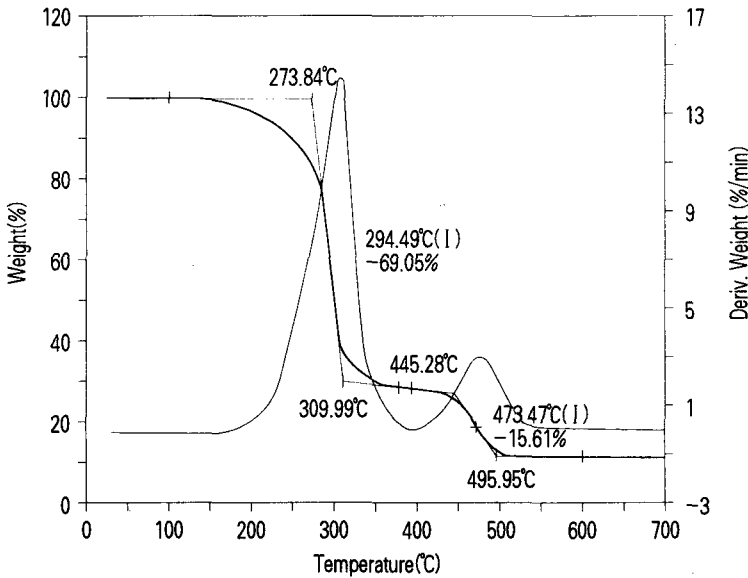
Chromatography), 배기 가스 처리 등 4개 항목에 대하여 실시하였다.

열중량 분석(TGA)이란 온도 증가에 따른 무게 감량 분석으로 열적 거동이 나타나는 온도를 측정하기 위한 실험이고, 시차 주사형 열분석(DSC)은 융점 및 연화점을 분석한다.

열분해 가스 크로마토그래피(GC

〈표 2〉 화학적 특성 실험 결과

종 류	TGA 결과	DSC 분석 결과	GC 결과
염 화 비 닐	분해 온도 272°C	-	• 발생 가스의 99% 이상 이 염화수소 • 염화수소 분해 온도 : 150°C 이상
폴 리 에 틸 렌	분해 온도 427°C	융점 119°C	-
폴 리 에 스 터 + 먼	분해 온도 409°C	융점 260°C	-



〈그림 1〉 분해 온도가 가장 낮은 염화비닐의 열중량 분석 그래프

로 열분해시 생성되는 가스를 분석하여 발생 가스의 확인과 안전한 배기 가스 처리 방법을 확립하였다.

화학적 특성 실험은 가연성 방사물의 주류를 이루는 염화비닐·폴리에틸렌·폴리에스터와 섬유에 대하여 실시하였으며 실험 결과는 〈표 2〉와 같다.

〈표 2〉와 〈그림 3〉의 특성 실험 결

과에서 볼 수 있듯이 처리 대상 방사물을 가열 압축시 가열하는 적정 온도는 열적 거동이 거의 없고 염화수소 가스 발생이 일어나지 않는 150°C 미만이라는 결론을 얻을 수 있었다.

**가열 압축 장치의 구성 및 기능**

가열 압축 장치는 현재의 단순 압

축 설비인 baler machine과 독립된 장치로서 baler machine 인접 지역에서 사용할 수 있도록 설치하였다.

주요 장치의 구성은 방사물 공급 계통, 예비 가열 계통, 가열 및 압축 계통, 냉각 및 압축 고화체 인출 장치, 배기 가스 정화 장치, 운전 제어 반으로 구성되어 있으며 이 장치로 처리할 수 있는 대상물은 염화비닐·폴리에틸렌 등의 비닐류와 타이콘 호스, 관리 구역 작업복 등이다.

관리 구역에서 수집된 처리 대상 방사물은 〈그림 4〉와 같이 분쇄기로 3×3cm 정도의 크기로 잘게 썰어 공급기에 넣기 좋은 형태로 분쇄하여 방사물 공급 계통에 투입하게 된다.

**1. 방사물 공급 및 예비 가열 계통**

잘게 분쇄된 방사물을 장치에 공급하고 예비 가열하는 장치로서 투입된 방사물은 스크류(screw) 타입과 히터가 내장된 예비 가열 계통을 거치면서 약 70°C~80°C의 열을 받아 녹 녹하게 된 상태로 가열 및 압축 계통으로 넘어간다.

**2. 가열 및 압축 계통**

예비 가열되어 넘어온 방사물을 130°C~150°C로 열을 가한 후 상부 압축기로 15톤의 힘을 가하여 방사물의 부피를 최소화시키는 핵심 장치로 약 30분간 가열·압축하게 된다.

염화비닐이나 폴리에틸렌을 가열하게 되면 염화수소 가스가 발생할

수 있는데, 염화수소 가스는 150°C 이상의 열분해시 발생하게 되며 그 미만의 온도에서는 검출이 안되는 특성을 이용하여, 가열 온도를 130°C~150°C 이내로 운전하고 있다.

### 3. 냉각 및 압축 고화체 인출 장치

가열 계통의 열원을 제거하고 압축한 상태로 상온까지 냉각시킨 후, 하부 프레스로 고화체를 인출하게 된다.

(그림 5)는 최종 압축 고화된 방사물이다.



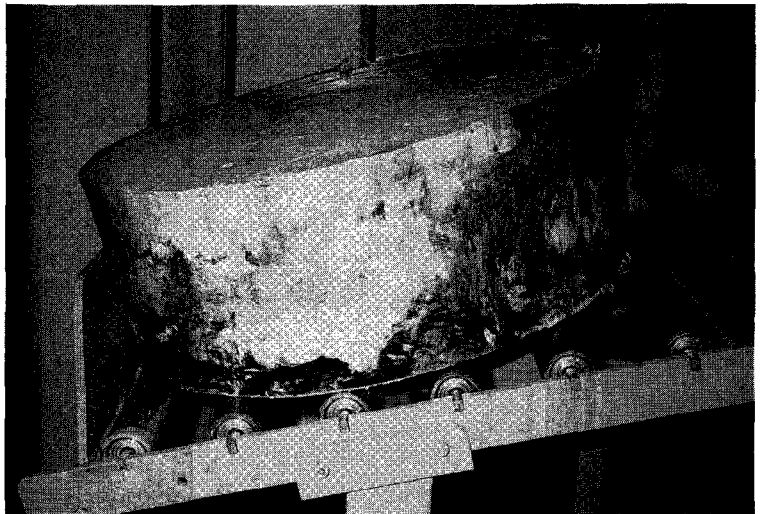
가열 압축을 위해 분쇄한 비닐류(처리 전)

### 4. 배기 가스 정화 장치

처리 대상 방사물을 열분해시 발생되는 배기 가스는 염화수소 가스와 방사성 기체이며, 염화수소 가스는 PVC의 함량에 따라 발생량이 달라질 수 있으나, 150°C 미만에서는 실험실적으로 발생하지 않음을 소개 특성 실험에서 확인할 수 있었고, 방사성 기체는 500°C 미만에서는 거동이 되지 않는 것으로 방사선 관련 연구 실험 결과로 발표된 바 있다.

그러나 다중 안전 처리 원칙에 의해 극미량의 염화수소 가스 발생이 있더라도 정화 처리할 수 있는 다중 필터와 중화탑을 배치하였다.

중화탑 내에는 물과 가성소다를 10 : 1의 비율로 희석시킨 용액과 packing ring이 들어 있으며, 이 중화탑을 배기 가스가 통과시 HCl과 NaOH가 반응을 일으켜 중화 처리할



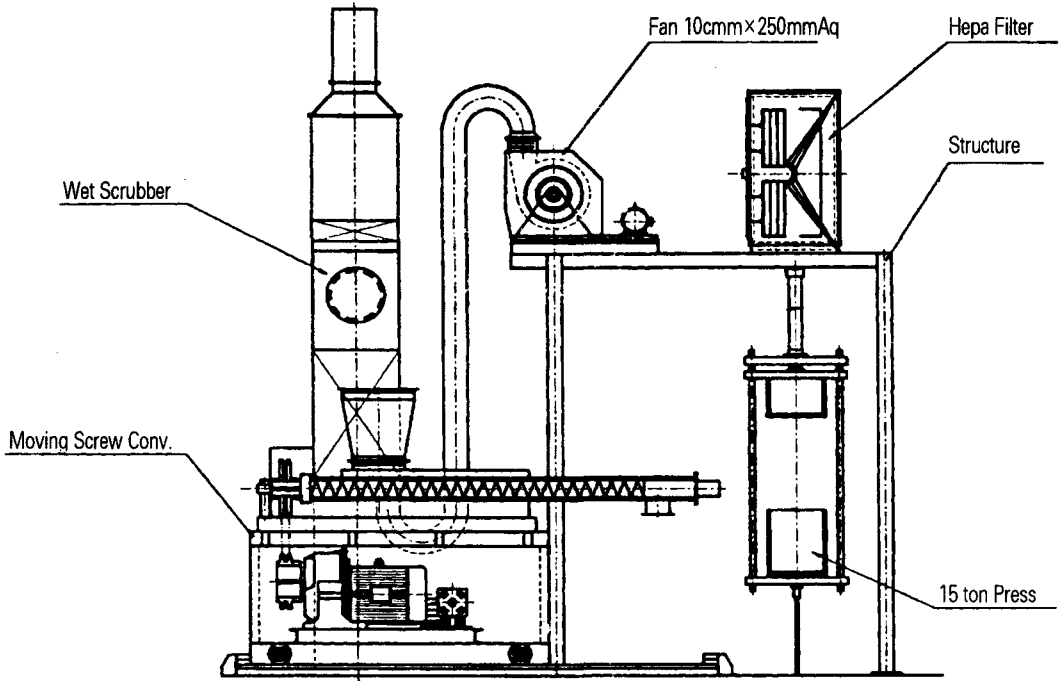
가열 압축하여 냉각시킨 후 인출된 고화체

수 있도록 조치하였다.

다중 필터는 배기 가스 중의 입자와 악취를 제거하는 기능을 하며 중화탑 전단에 배치하였다.

### 5. 운전 제어반

예비 가열 히터, 가열 히터(상부 압축기 히터, 하부 압축기 히터, 몰드 히터)의 작동 온도를 설정 및 지시하



〈그림 2〉 잡고체 방사물 가열 압축 장치 구성도

며, 가열 압축의 전체 처리 과정을 자동 또는 수동으로 운전할 수 있는 기능을 가지고 있다.

### 활용 전망

고리원자력본부에서는 지난 2월 24일 고리 4호기에서 잡고체 방사물 가열 압축 장치 개발 현장 설명회 겸 시운전을 실시하였다.

이번에 개발한 잡고체 방사물 가열 압축 장치는 기존 baler machine에 의해 처리하는 방식의 단점인 부풀어 오름 현상을 제거함으로써 가연성 잡

고체 드럼 발생량의 약 50% 이상을 감소시킬 수 있을 것으로 기대되며 그 동안 시운전 결과 안전성이 입증되어 97년 4월부터 본격 가동하고 있다.

가열 압축 장치의 운영으로 드럼 발생량 저감은 물론 방사물에 열을 가해 처리함으로써 수분 함유량을 없애 드럼의 건전성이 향상되고 소내 임시 저장고 저장 능력 신장 및 관리 비용 경감 등의 전반적인 효과가 있을 것으로 예상하고 있다.

또한 잡고체 방사물 가열 압축 장치는 국내에서 최초로 개발하여 운영

하게 되었으며, 해외 선진 원전에서 기술 개발 단계에 있는 점과 우리 한국전력공사에서 고체 방사물을 획기적으로 감용하기 위해 개발을 추진하고 있는 유리 고화(vitrification)의 전단계 감용 설비로 방사물 처리 설비 국산화 가능성에 큰 의미를 부여할 수 있겠다.

앞으로 고리원자력본부에서는 잡고체 방사물 가열 압축 장치를 전원전에 확대 적용할 수 있도록 개발 기술을 전파할 계획이다. ☞