

# 앞으로의 原子力開發課題

우리나라의 電氣중에는 원자력에 의해 發電된 電氣가 포함되어 있다. 우리나라 최초의 연구용원자로인 TRIGA Mark-II가稼動을 시작 한지도 벌써 20년이 지났으며 原子力發電은 전력의 重要한 供給源으로서의 역할을 담당하고 있으나 그 반면 방사성폐기물의 處理·処分, 使用後 核燃料의 再利用, 壽命이 끝난 원자로의 뒷처리 등의 문제가 주목을 받게 되었다. 석유 파동은 이미 지난날의 이야기이나 에너지 資源이 없는 우리나라로서는 언제 또 국제분쟁으로 인해 資源의 수입이 곤란을 받게 될지 모르기 때문에 대체 에너지원의 하나로 원자력의 역할이 더욱 중요해질 것이므로 앞으로의 原子力開發課題에 대하여 알아보기로 한다.

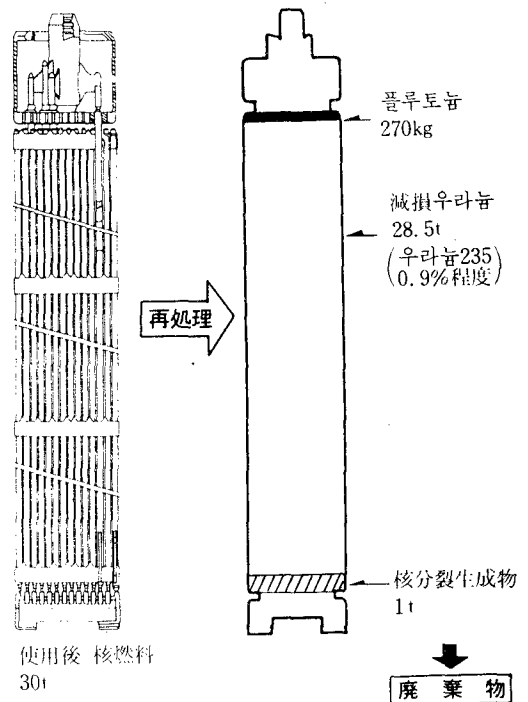
## 再處理

핵연료를 원자로내에서 핵분열 시키면 핵분열 생성물이 모여서 반응이 低下하므로 적당한 시기에 연료를 교체하여야 한다. 재래의 연료는 타면 재가 되어버리나 핵연료의 경우는 전혀 다르다. 우라늄연료의 경우는 사용후 핵연료 속에도 핵분열 되지않은 우라늄235가 남아 있고 또 우라늄238이 중성자를 흡수해서 생긴 플루토늄239가 포함되어 있다. 이 플루토늄239는 핵연료로 사용될 수 있으며 우라늄235와 거의 같은 에너지를 낸다. 따라서 사용후 핵연료로부터 우라늄과 플루토늄을 회수하면 다시 한번 연료로 사용할 수 있다. 이와같이 有用한 우라늄과 플루토늄을 회수하고 불필요한 핵분열생성물을 제거

하는 것을 再處理라 한다.

100만KW級 原子力發電所(일반가정 약 300만호가 1년동안 사용하는 전기를 發電한다)로부터는 1년동안 약 30톤의 사용후 핵연료가 나온다. 이것을 재처리하면 우라늄235를 약 0.9% 포함한 우라늄 28.5톤, 플루토늄 270kg, 그외에 핵분열생성물 1톤이 얻어진다. 재처리에서 회수된 우라늄과 플루토늄을 다시 한번 연료로 사용하면 천연우라늄의 必要量을 35~40% 절약할

## ■再處理



수 있으며, 농축우라늄의 必要量도 25% 감소시킬 수 있을 것으로 예상된다.

이웃나라 일본에서는 77년 가을부터 動力炉·核燃料 開發事業團에 의해서 우라늄연료의 재처리공장이 운전되고 있다. 연간 처리능력은 210톤이나 카터 前美國大統領의 핵비확산정책에 의해서 처음에는 99톤, 81년 2월부터는 149톤으로 제한되고 있다. 이것이 全稼動을 하더라도 700만KW 發電所로부터 나오는 사용후 핵연료처리가 고작이며 일본의 全原子力發電所로부터 나오는 사용후 핵연료를 모두 처리할 수는 없다. 그래서 일본에서는 제2 재처리공장 건설이 민간기업에 의해서 행해지려 하고 있다. 재처리회사「日本原燃서어비스」가 설립되어 연간 처리능력 1,200톤의 재처리공장을 85년에 착공하여 90년 완성을 목표로 候補地를 選定中이다. 현재 일본은 영국이나 프랑스에 처리를 위탁하고 있다. 영국에는 민간용 재처리를 위한 Windscale 공장이 있으며, 프랑스에는 라아그 재처리공장이 있다.

原子炉에서 꺼내진 使用後 核燃料은 원자력발전소 내에서 일정기간동안 저장하여 방사능을 減衰시킨 후 재처리공장으로 보내지나 이 때에도 핵연료는 아직도 강한 방사능을 가지고 있으므로 물로 채워진 pool에 다시 얼마동안 담그어두어 방사능을 감쇠시킨 후 연료봉에 부착된 stainless鋼을 풀고 연료봉을 短片으로 절단하고 窒酸을 가하여 속에 있는 연료를 녹인다. 그 후 화학약품으로 우라늄과 플루토늄을 나누어서 抽出, 精製하면 방사성을 가진 폐기물이 남으므로 방사능의 강도와 반감기의 長短으로 나누어서 적당히 처리·처분한다.

재처리비용은 1kWh의 발전코스트중 약 3원이하로서 이중에는 사용후 핵연료를 발전소에서부터 재처리공장까지 운반하는 수송비에서부터 폐기물의 glass固化까지의 비용 등 재처리에 소요되는 코스트를 모두 포함하고 있다. 이 재처리비용은 발전원가에 포함시키는 것이 보통이다.

### 高速増殖炉

핵분열을 일으키지 않는 원소(우라늄 238)를

핵분열성 원소(플루토늄239)로 바꿀 수 있다면 우라늄235의 소비량 이상으로 새로운 핵분열성 물질을 생산할 수 있다. 이 원리를 이용한 원자로가 高速増殖炉이다.

현재 發電炉로 널리 사용되고 있는 輕水炉에서 실제로 이용할 수 있는 것은 천연우라늄 1톤 중 불과 9kg정도이나 고속중성자를 사용하면 600~800kg을 이용할 수 있다. 이 炉가 實現되면 우라늄자원이 약 60~80배 늘어나는 것과 같은 효과가 있으므로 여러나라에서 경쟁적으로 개발을 서두르고 있다.

그러나 高速中性子라는 강력한 에너지로 연료를 照射하므로 輕水炉보다 고도의 기술과 재료가 필요하며 또한 같은 부피의 炉心에서 경수로보다 10배의 熱이 나오므로 運轉制御도 어려워진다. 발생하는 熱을 운반하는 冷却材로도 지금까지의 원자로에서는 사용되지 않았던 액체나트륨을 사용하게 된다. 물은 중성자를 減速시키므로 고속중성자로서는 사용할 수 없다. 이와같이 종래의 경수로에서는 없었던 고도의 기술이 필요하므로 아직 實用化 되어있지 않다. 그러나 프랑스, 소련, 영국에서는 이미 原型炉가 완성되었고 일본, 서독, 미국에서는 實驗炉가 만들어지고 있다.

개발의 선두를 달리고 있는 것은 프랑스인데 發電用炉가 실용규모로 운전될 수 있음을 實証하는「Super Phenix」(120만KW)를 건설중인데 내년중에 완성될 예정이며 150만KW의 實用炉 建設도 計劃하고 있다.

미국의 고속중성자로 개발계획은 시작도 빨랐고 初期의 實驗炉 段階에서는 다른 나라를 크게 앞질렀으나 이어지는 原型炉 단계에서는 유럽 여러나라와 소련에 크게 뒤떨어지고 말았다. 미국은 최초의 原型炉「Clinch River Breeder Reactor」(37만5천KW) 建設을 10년전에 착수하였으나 건설비의 대폭적인 증가로 전력회사에서 에너지값으로 넘어갔고 77년에는 카터 대통령의 핵비확산정책으로 개발이 동결되었으나 최근에 부지준비공사가 시작되게 되었다.

일본에서는 動力炉·核燃料開發事業團이 自

主開發한 최초의 실험로 「JOYO」(당시 熱出力 5만KW)가 77년 4월에 臨界에 도달했다. 「JOYO」는 세계에서 13번째 고속증식로이며 發電을 하는 原型爐 「MONJU」(28만KW)의 建設이 계획되고 있다.

영국은 8년전에 완성시킨 原型爐 「PFR」(25만KW)에서 운전실적을 축적하고 있으며 서독의 原型爐(31만2천KW)도 85년경 臨界에 도달할 것 같다.

현재는 경기침체로 인해 uranium 자원에 대한 수요가 줄어들어 가격이 내리고 있으나 輕水爐型 원자력발전소는 세계적으로 늘어나고 있어 21세기에 들어가면 uranium 자원의 유효이용이 不可缺하게 될 것이며 이때는 고속증식로의 필요성이 절실해 질 것이다.

美國會計檢査院은 2025년~35년경에 고속증식로의 경제성이 좋아질 것이라고 報告하고 있으나 일본원자력위원회는 이보다 빠른 2010년대에 고속증식로가 실용화될 것으로 예측하고 있다.

### 增殖爐로 이어지는 두가지 方法

현재 세계에서 널리 사용되고 있는 輕水爐型 發電爐는 천연 uranium 중에도 불과 0.7%밖에 없는 핵분열성 uranium 235만을 이용하는 原子爐로서 나머지 99.3%를 점하는 uranium 238은 별로 이용할 수 없는 구조로 되어 있기 때문에 앞으로 몇백기의 發電爐가 세계에서 운전되게 되면 uranium 자원도 결국은 枯渴되어 버린다.

그래서, 지금까지의 발전소에서는 이용하지 않았던 uranium 238을 플루토늄 239로 변환시켜서 연료로 사용할 수 있으면 uranium 이용효율은 훨씬 높아지며 資源價値도 수십배 증대한다. 그 주역이 고속증식로이나 그 실용화는 빨라도 2010년대로 예측되므로 실용화 될 때까지 플루토늄을 저장만 해 둘 수는 없는 것이다. 플루토늄은 白金보다 1.5배나 비싼 금속이므로 플루토늄을 이용하지 않고 방치해 두는 것은 막대한 손해다. 그러므로 고속증식로의 실용시기에 앞서 過渡的對策으로 강구되는 것이 플루토늄을 輕水爐에

이용하는 pluthermal과 新型轉換爐(ATR)이다.

輕水爐에는 2~3% 농축 uranium이 연료로 사용되고 있으나 플루토늄도 이용할 수 있다. 천연 uranium이나 재처리에서 회수된 uranium(減損 uranium)에 플루토늄을 첨가시키면 이 플루토늄이 농축 uranium과 같은 작용을 하여 핵분열을 일으킨다. 천연 uranium이나 減損 uranium에 플루토늄을 첨가한 混合酸化化合物이 pluthermal 연료인데 이것을 MOX(혼합산화물연료)라고 한다.

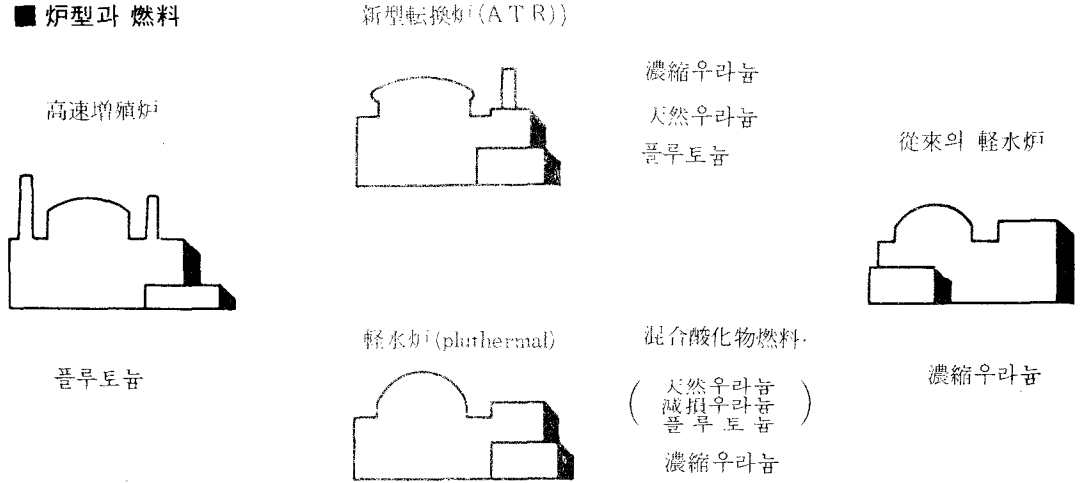
경수로에서 연료로 이용할 경우 연료봉의 3분의 1을 MOX 연료로 바꾸는 것이 고려되고 있다. 아직은 연구중으로서 서독과 일본이 총력을 기울이고 있으나 아직 본격적으로 실시하고 있는 나라는 없으며 일본은 미국이 동의한다면 이미 제조되어 있는 연료 4체를 내년부터 3년동안 PWR에 裝填하여 사용할 예정이고 BWR에 대해서도 許認可가 얻어지면 내년부터 연료봉을 試作해서 85년부터 3년동안 시험 사용할 계획이다.

1990년 중반에는 본격적으로 이용할 수 있도록 준비를 갖추어 2000년에 약 20基(2천만KW)정도 pluthermal을 실용화 시키려는 계획으로 되어 있다. pluthermal의 경제성은 아직 뚜렷하지 않으나 uranium 정도의 가격이라면 연간 200톤이 용규모에서 경제성이 있다는 試算이 있다.

發電爐에서 생성되는 플루토늄의 양이 경수로보다 많아지도록 설계한 것이 新型轉換爐(ATR)이다. uranium 238을 조금이라도 더 많이 플루토늄으로 변환시켜서 uranium의 이용효율을 높인 發電爐이다. 플루토늄이 생성되기 쉽게 하기 위해서 輕水 대신 重水를 사용한다. 일본에는 신형전환로 「FUGEN」이 있다.

신형전환로에는 농축 uranium 연료와 MOX 연료를 사용하는데 輕水爐 3基에서 나오는 플루토늄으로 신형전환로 2基에 필요한 플루토늄을 補充할 수 있다. 「FUGEN」은 출력 16만5천KW인데 앞으로 일본은 60만KW의 実証爐를 건설할 계획이다. 같은 규모의 發電爐로 비교할 경우 신형전환로의 건설비가 경수로보다 50~80% 높을 것으로 예상되나 최종적인 경제성은 実証爐를 운전해 보아야 결정될 것 같다.

■ 炉型과 燃料



廢棄物의 處理処分

原子力施設에서 나오는 폐기물중에는 放射性物質이 포함되어 있다. 放射性廢棄物에는 재처리시설에서 나오는 高레벨 방사성폐기물과 의료기관 등에서 사용한 약한 방사능을 가진 것들이 있고 또 각 방사성물질의 半減期도 길고 짧은 여러가지의 것이 있어 모두 똑같이 취급할 수 없으며 형태로는 기체, 액체, 고체 세종류가 있다.

원자력발전소의 경우 기체상태의 방사성폐기물로는 원자로와 방사성폐기물을 處理하는 건물내를 換氣한 공기, 터빈에서의 排氣, 燒却炉의 排氣 등이 있으며 필요하다면 電氣集塵器를 통해서 고성능 filter로 거른 후 굴뚝을 통해 대기중으로 방출한다. 반감기가 8일 이하인 방사성 크립톤이나 크세논이 대부분이므로 방출하기 전에 몇일동안 용기내에 貯留해 두어 방사능을 약하게 해서 사람에게 영향이 없도록 하여 방출하고 있다.

液体廢棄物(廢液)은 펌프나 밸브의 틈에서 누설된 물, 시설의 바닥배수, 사용후 핵연료의 冷却池의 물, 시설내에서 사용한 기구나 작업복의 세탁배수 등으로 이들은 처리시설에 모아서 處理한다. 방사능레벨이 매우 낮은 세탁배수 등은 filter로 粒子狀態인 것들을 제거한 후 방사능농

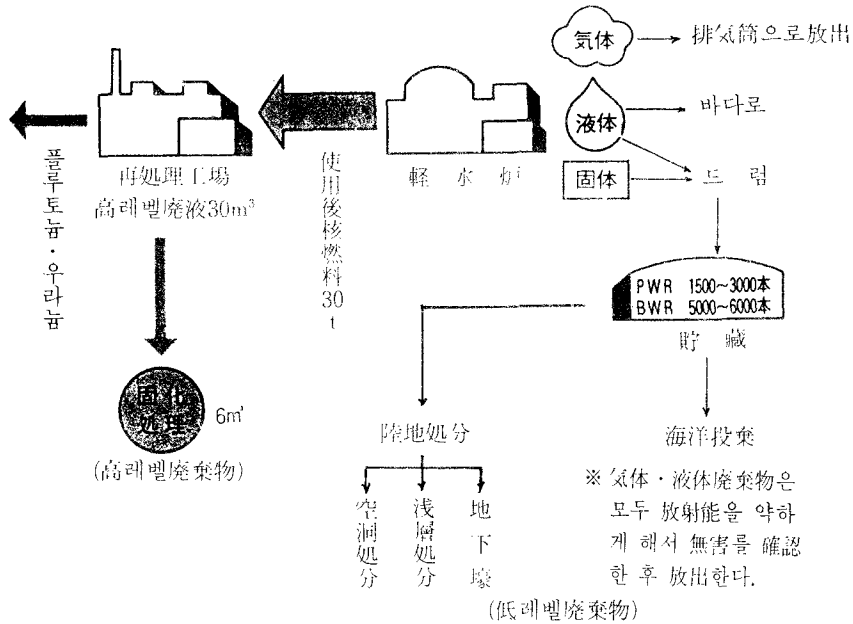
도를 측정하여 바닷물로 稀釋해서 바다로 방출하며 그외의 폐액은 중발시켜 농축하여 固化處理한다.

固体廢棄物로는 사용한 制御棒, 사용한 이온교환수지, 放射化된 계측기, 오염된 工具, 기구, 부품 등이다. 원자력발전소에서 나오는 것은 거의 대부분 低레벨 방사성폐기물인데 부피가 큰 것은 압축, 조각해서 부피를 적게 하며, 농축폐액과 고체 저레벨 폐기물은 콘크리트나 아스팔트로 固化시켜 드럼에 넣어 발전소 부지내에 있는 폐기물 저장고에 보관한다.

폐기물의 최종처분 방법으로는 깊이 4000m 이상의 海底에 가라 앉히는 海洋投棄와 땅속에 파묻는 육지처분이 있다. 현재 일본이 북서태평양의 깊은 해저에 해양투기 하려는 계획은 남태평양 여러나라의 강한 반대로 담보상태에 있다. 외국에서는 해양투기하는 국가가 많으나 육지처분만을 하는 나라도 있다.

高레벨 방사성폐기물은 재처리시설에서 발생한다. 방사능이 강한 폐액의 양은 적으므로 일정기간 동안 폐액의 방사능을 減衰시킨 후 유리등과 혼합용융시켜 固体化한다. 그리고 다시 일정기간동안 냉각시킨 후 저장시설에서 30년이상 저장하였다가 地層中에 격리 처분한다. 사용후 핵연료 1톤에서 약 100ℓ의 glass固化체가 1本 나오므로 100만KW급 원자력발전소 1基를 1

■ 100萬kW級 原子力發電所를 1年 동안 移動하면



년 동안 운전하면 약 30본이 된다.

폐기물의 육지처분 방법에는 지상의 철근콘크리트 등의 창고에 저장하는 시설 저장, 地下壕나 지하의 콘크리트 창고에 저장하는 淺層 처분, 地中の 岩盤內에 터널을 파고 콘크리트 로 보강한 후 이속에 처분하는 地下空洞 처분 세 가지가 있다.

廢 炉

원자력발전소에도 수명이 있다. 수명이 끝났거나 또는 사고, 고장 등으로 운전을 정지하고 시설을 영구히 사용하지 못하게 처분하는 것을 廢炉라 한다.

원자로는 일반 시설과는 달리 방사성 핵연료가 포함되어 있으므로 여러가지 어려운 문제가 많다. 방사능을 깨끗이 씻어 내고 방사능으로 오염된 것들을 치워버리는 등 退役을 위한 手續이 필요하다. 원자력발전소의 운전수명은 30~40년으로 보고 있다. 현재의 輕水爐 설계에서는 거의 대부분 운전수명을 40년으로 하고 있으나 의

국에는 이미 廢炉된 것도 있고 또 廢炉를 준비하고 있는 것도 있다.

廢炉에는 密閉管理方式, 遮蔽隔離方式, 解体撤去方式 등 세가지 방법이 있다. 밀폐관리방식은 원자로로부터 핵연료와 방사성물질을 제거한 후 시설을 밀폐하여 방사선과 사람들의 출입을 관리하는 방법이다. 차폐격리방식은 핵연료와 방사성폐기물 등을 꺼낸후 시설전체를 콘크리트나 아스팔트로 固化시키는 방법인데 남아있는 오염된 기계류는 콘크리트 속에 갇혀버린다. 해체철거방식은 원자력시설을 모두 해체하여 부지에서부터 철거하는 것으로 부지는 새로운 토지로 이용된다.

發電爐를 해체하는 데는 원격조작의 로봇트가 사용된다. 방사능을 띤 水中切斷 등 특수한 기술이 필요하다. 이미 완성된 기술도 있으며 로봇트에 의한 절단기술 등도 폐로작업이 시작될 때까지는 완전히 개발될 예정이다.

운전을 정지한 원자로는 세계에 30基 이상이 있으며 이 중에서 廢炉가 실시된 例는 8個所가

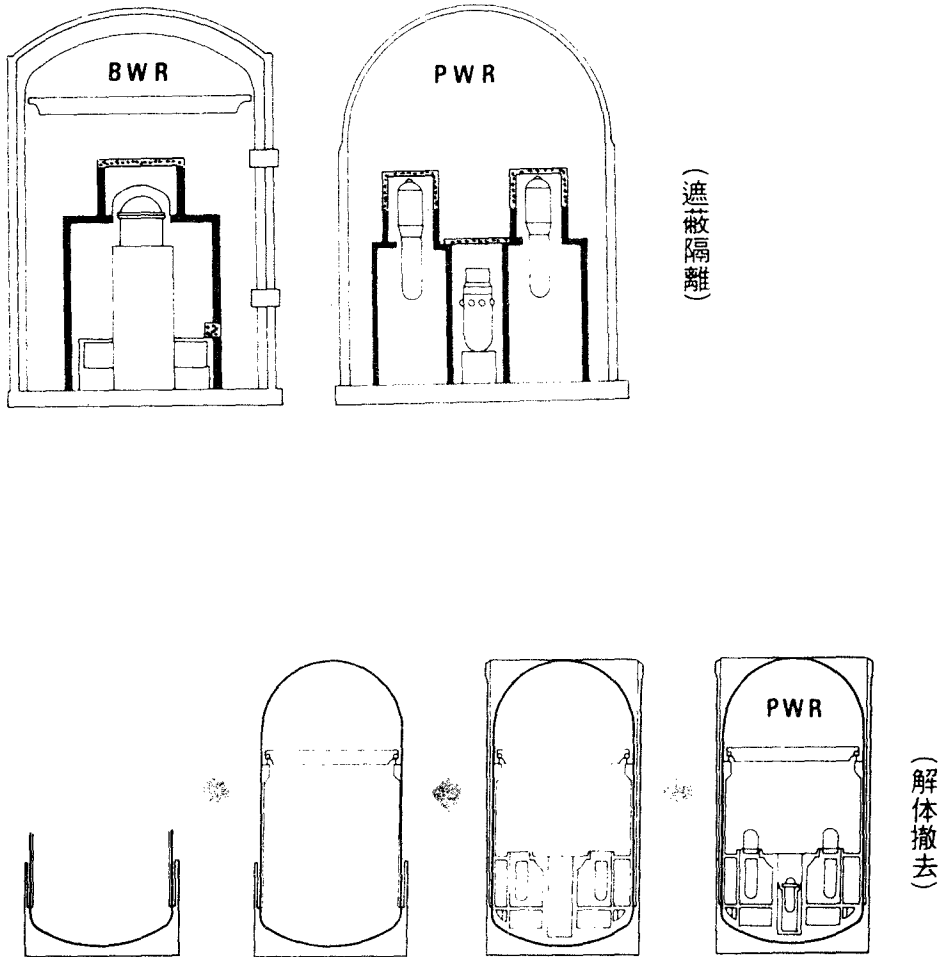
있다. 완전해체된 實例로는 미국의 상업용발전로 Elk River가 있다. 출력 2만2500KW의 BWR이었는데 1964년 6월에 發電을 시작하여 68년 1월에 정지하였고 72년부터 74년까지동안 해체

되었으며 그 발전시설의 일부는 화력발전시설로 전용되었다.

廢爐의 코스트는 건설비의 數%에서 많아도 20% 정도가 된다고 한다.

■ 原子爐의 廢止措置 分類圖

■ 措 置 前  
 [ ] 遮 蔽 工 事



■ 세계에서 廃止措置가 行해진 原子炉

施設名	国名	容量	型式	実施年	方法
BONUS	미국	熱出力 5万kW (電氣出力1.65万kW)	BWR (發電炉)	1970	遮蔽隔離
EBR-1	"	熱出力 0.12万kW	高速実験炉	1964	密閉管理
PATHFINDER	"	熱出力 19万kW (電氣出力5.85万kW)	BWR (發電炉)	1967	遮蔽隔離
Elk River	"	熱出力 5.8万kW (電氣出力2.25万kW)	BWR (發電炉)	1972~1974	完全解体
JRR-1	日本	熱出力 50kW	Boiling Water型	1970	密閉管理
HTR	"	熱出力 100kW	Swimming Pool型	1975~1976	遮蔽隔離
AGESTA	스웨덴	熱出力 8万kW (電氣出力 1.2万kW)	PHWR (發電炉)	1975	密閉管理
CHINON-1	프랑스	熱出力 30万kW (電氣出力 7万kW)	GCR (發電炉)	1973	密閉管理

原子力産業新聞 購讀案内

当會議에서는 日本原子力産業會議가 發行하는 「原子力 産業新聞」을 輸入, 配布하고 있습니다.

同新聞은 世界各國의 原子力政策, 各種報告, 國際會議, 放射性 同位元素, 核燃料, 放射性廢棄物, 原子力發電所 建設 및 運轉記錄, 高速增殖炉와 核融合炉開發等 모든 原子力分野에 대한 情報를 상세하게 報道하고 있어 原子力の 平和利用에 関心이 있으신 분이나 原子力産業界에 몸담고 계신분에게 많은 參考가 되리라 確信합니다.

部수가 限定되어 있는 關係로 1983年度分 購讀申請을 미리 받고 있어야오니 申請하여 주시기 바랍니다.

1. 新聞名: 原子力産業新聞
2. 發行處: 日本原子力産業會議
3. 使用語: 日本語
4. 크기: 타블로이드版 (4~8page)
5. 種類: 週刊
6. 購讀價: 20,000원/年
7. 購讀期間: 1年(1983. 1. 1. ~ 12. 31. 發行日 基準)
8. 申請 및 問議處: 當會議事務局 (28-0163)