

原子爐의 디커미셔닝과 技術開發

— 外國의 廢止措置 프로젝트 —

1. 序 論

原子力이 發電에 이용된지 약30년이 지난 현재 세계에서 운전중인 原子力發電設備은 312基, 약2억1,000만KW이며, 건설중, 계획중인 것은 346기, 약3억4,000만KW(1984년6월 현재)에 달하고 있다. 原子力發電所의 건설은 앞으로도 에너지공급의 중요한 수단으로서 더욱 추진될 것으로 기대되는데 이와 같은 原子力發電의 가일층의 定着化를 위해서는 核燃料사이클의 백엔드技術과 원자력발전소의 廢止措置技術의 확립이 필요하다.

歐美各國에서 운전을 끝낸 發電用原子爐는 이미 30기를 넘었으며 각각 密閉管理, 遮蔽隔離 등의 조치가 취해지고 있다. 지금까지 운전을 끝낸 이들 原子爐는 모두 원자력발전 초기의 것으로 試驗研究 또는 實證을 목적으로 운전되다가 그 役割을 끝나치고 廢止措置에 이른 것이 대부분이다.

현재 가동중인 상업용원자력발전소의 경우 그 운전수명은 각각의 원자력에 따라 다소 차이가 있기는 하나, 일반적으로 30-40년으로 생각하고 있으며 原子力發電의 進展에 따라 원자력의 廢止措置가 주요한 과제로 주목받고 있다.

원자력의 廢止措置에 대해서는 최근 국제적으로도 중요시되어 각국이 모두 여러가지의 조사검토를 함과 동시에 필요한 技術開發을 추진하고 있으며 또 IAEA와 OECD-NEA가 중심

이 된 국제회의가 개최되고 있다. 다음은 주요 외국에서의 원자로 폐지조치 현황, 기술개발의 動向, 規制·基準의 동향을 概說함과 동시에 각국에서의 디커미셔닝 프로젝트에 대한 例이다.

2. 發電用原子爐의 廢止措置 現況

表 1에 歐美各國에서의 발전용원자로 디커미셔닝 實施例를 나타내었다. 원자력의 개발에 가장 실적을 갖고 있는 美國에 비해 다른 나라들의 디커미셔닝의 例는 그렇게 많지 않다. 또 原子爐 廢止措置의 방식으로 解體撤去方式이 실시된 例는 매우 적으며, 美國의 Elk River爐(58MWt, BWR)가 代表例이기는 하나 대규모 상업용원자력발전로의 해체철거에 대해서는 아직 어떤 나라에서도 실시되고 있지 않는 것이 현재의 상황이다.

原子爐 廢止措置의 방식에 대해서는 歐美의 어떤 나라에서도 아직 기본적인 방침을 명확히 하고 있지 않으나, 歐州에서는 即時解體撤去 또는 어느 정도 安全貯藏後에 원자로시설을 해체철거한다는 개념이 일반적이며, 美國에서도 최종적으로는 해체철거한다는 생각이 지배적으로 되어가고 있다. 일반적으로 원자로 폐지조치의 실시에 대해서는 현시점에서 既存技術 또는 그 개량에 의해 대응할 수 있다고 생각되고 있는데, 피폭저감 등 안전성의 가일층 향상 및 비용의 경감을 도모하는 관점에서

〈表 1〉發電用原子爐 廢止措置 實施例

國名	施設名	型式	出力		運轉 終了 年	廢止措置 方式
			MWt	MWe		
美國	APPR-1	PWR	10	1.85	1973	密閉管理
"	CVTR	PHWR	65	1.7	1967	"
"	EFAPP	FBR	200	0.9	1973	"
"	Pathfinder	BWR	190	58.5	1967	"
"	Peach Bottom-1	HTGR	115	40	1974	"
"	Saxton	PWR	23.5	3	1972	"
"	VBWR	BWR	50	5	1963	"
"	BONUS	BWR	50	16.5	1968	遮蔽隔離
"	EBR-1	FBR	1.2	0.15	1964	"
"	HNPF (Hallam)	SGR	256	75	1964	"
"	Piqua (PNPF)	OMR	45.5	11.4	1966	"
"	Elk River	BWR	58.2	22	1968	解體撤去
"	HRE-1	Hom	1	0.14	1954	"
"	HRE-2	Hom	1	0.3	1954	"
"	SL-1	BWR	2.2	0.3	1961	"
"	SRE	SGR	30	5.7	1964	"
佛	Chinon-1	GCR	300	80	1973	密閉管理
"	G-1	GCR	38	4	1968	"
西獨	KKN	HWGCR	316	100	1974	遮蔽隔離
스웨덴	Agesta	PHWR	80	12	1974	"
英國	DER	FBR	72	14	1978	密閉管理
스위스	Lucens	HWGCR	30	5.8	1969	遮蔽隔離

기존기술의 개량 및 새로운 기술의 개발이 각
방면에서 추진되고 있다.

美國에서는 예상되는 大型發電爐의 디커미셔닝에 대비하여 각종 연구기관 등에 委託하여 技術開發이 추진되고 있으며, NRC에 의해 PWR, BWR原子力發電所 等 원자력시설의 解體方法, 技術基準, 費用試算, 資金調達, 關聯法規整備 등 광범위한 검토가 실시되어 보고서가 정리되고 있다. 유럽에서는 1979년부터 5개년 계획으로 除染, 解體, 廢棄物處理技術 等の 연구가 행해져서, 그 성과가 1984년5월에 발표되었고, 계속해서 1984년부터 새로운 5개년계획

이 추진되고 있다. 또 IAEA에서는 디커미셔닝의 配慮事項, 除染, 廢棄物處理 等の 기술에 대한 보고서를 정리하였으며 實施基準, 指針의 정비도 진행되고 있다.

OECD-NEA에서도 除染, 遠隔操作技術 等に 관한 전문가회의를 자주 개최하여 디커미셔닝분야에서 국제협력이 진행되도록 힘쓰고 있다. 한편, 日本에서도 원자로 폐지조치의 바람직한 방법 및 대책에 대해서 1982년6월에 일본 원자력위원회가 책정한 「原子力開發利用長期計劃」에서 그 기본방침이 제시되어 있다. 이에 의하면 「原子爐의 廢止措置는 현시점에서도 기존기술 또는 그 개량에 의해 대응할 수 있다」고 하면서도 「작업자의 피폭저감 등 안전성의 가일층 향상과 비용의 경감을 도모하는 관점에서 기존기술의 實證, 改良 및 새로운 기술의 개발을 추진하는 것이 기대된다」고 하고 있다. 그리고 이 기술의 實證, 改良 및 개발에 관해서 「이미 役割을 다한 JPDR을 대상으로 하여 장래의 상업용원자력발전소 폐지조치에서 활용할 수 있는 해체기술 등의 개발과 實際試驗을 한다」는 방침을 제시하고 있다.

이와 같이 원자로 폐지조치에 대해 외국에서는 기술의 개발 및 規制·基準의 정비가 추진되고 있다. 이와 같은 상황에서 歐美各國에서 몇가지의 원자로 디커미셔닝프로젝트가 추진되려고 한다. 歐美各國의 프로젝트는 解體撤去方式에 의한 것이 주류인데, 각각 여러나라에서 개발한 기술을 실증함과 동시에 폐지조치와 관련된 지식 및 여러가지 데이터의 축적을 도모하려는 것으로서 原子力에 관계되는 각국에서 지대한 관심을 보이고 있다.

3. 各國의 디커미셔닝 프로젝트

表 2에 각국에서 추진되고 있는 프로젝트의 예를 나타내었다. 發電用原子爐를 대상으로 하는 폐지조치의 방식으로는 대부분이 해체철거

〈表 2〉各國의 原子爐 디커미셔닝 프로젝트例

國名	原子爐名	爐型	出力	廢止措置의時期	廢止措置의方式	備考
美國	Shippingport	PWR	72MWe	1985~	解體撤去	原子爐壓力容器(爐內構造物을收納한채로)를一體撤去하는方法을採用.
西獨	Kernkraftwerk Neiderachbach (KKN)	GCHWR	100MWe	1985~	解體撤去	稼動期間이 대단히 짧고, 内部放射能量이 적다.
	Gundremmingen	BWR	250MWe	1983~1987	遮蔽隔離	電解研磨에의한除染을實施中.
英國	Windscale (WAGR)	AGR	100MWth (33MWe)	1987~1993	解體撤去	Graphite는貯藏處分한다.
프랑스	Rapsodie	LMFBR	40MWth (15MWe)	1986~	解體撤去	高速爐解體 技術開發을豫定.
	Marcoule, G-2	GCR	250MWth (45MWe)	1982~	解體撤去	1982년부터 stage1(密閉管理). 將來, 解體撤去豫定.
캐나다	Gentilly-1	HWLWR	250MWe	1980~	密閉管理	1982年末에 stage1(密閉管理)終了. 계속해서 다른方式으로 移行을 檢討中.
日本	JPDR	BWR	90MWth (12.5MWe)	1986~	解體撤去	1982년부터 技術開發을開始.

방식을 채택하고 있다. 다음은 프로젝트 각각의 概要이다.

美國 美國에서는 이미 Elk River爐(BWR, 22MWe, 1974년에 解體完了) 및 SRE爐(SGR, 5.8MWe, 1982년에 解體完了)를 해체철거한 經驗이 있으나, 이것들은 모두 試驗研究用 原子爐로서 현재의 상업용원자력발전소와 비교하면 플랜트의 규모가 대단히 작다. Shippingport爐(72MWe)는 1957년부터 1982년까지 25년간 稼動하여 발전을 해온 원자로이다. 그 解體프로젝트는 대규모 商業用發電爐로는 처음의 것으로서 각국의 주목을 받고 있다. 프로젝트가 시작되기 전에 環境影響評價報告書(EIS: Environmental Impact Statement)가 정리되어 디커미셔닝의 여러 방식이 채택되었을 경우 각각의 케이스마다에 대해서 工事計劃, 工程, 被曝量, 廢棄物量, 費用等

을 검토하고 있다.

프로젝트는 다음 네가지 사업으로서 구성되어 있다.

- ① 엔지니어링 등 廢止措置自體에 관한 평가
- ② 廢止措置를 전제로한 엔지니어링의 기본라인
- ③ 엔지니어링面에서 상세한 폐지조치계획
- ④ 폐지조치의 실시

처음 세단계는 DOE 및 UNC Nuclear社, BRISC社 및 Nuclear Energy Service社에 의해서 이미 완료되고 있다. 제4단계, 즉 디커미셔닝의 실시는 GE社가 맡게 되었는데 1984년3월부터 要員의 훈련 등이 시작되어 1985년부터 1988년에 걸쳐 해체공사가 실시된다.

Shippingport 프로젝트의 기술적인 특징은 원자로압력용기를 절단하지 않고 내부구조물을 收納한채一體撤去하는 것이다. 이 工法의 채택에 의해 약700만달러가 절약되며, 작업피폭량

은 250man-rem에서 140man-rem으로 저감되고 공정도 1년 단축하는 것이 가능하다고 한다.

西獨에서는 발전소건설시 인허가의 조건으로 디커미셔닝이 방사선방호에 관한 요구와 일치되어 실시할 수 있음을 상세하게 제시하도록 요구하고 있다. 이 요구를 만족시키기 위해 서독의 전력회사는 1975년 이후 디커미셔닝에 관한 조사, 연구를 추진해오고 있다. 그 결과 전력회사는 개개의 시설플랜트마다 디커미셔닝에 관한 상세한 검토를 행할 필요가 없다고 계속 주장하고 있다.

發電用原子爐의 디커미셔닝 프로젝트로서는 Neiderachbach發電所(GCHWR, 100MWe) 및 Gundremmingen發電所(BWR, 250MWe)의 계획이 추진되고 있다. Neiderachbach發電所는 1972년에 가동을 시작하여 2년간 運轉하였을때 熱交換器의 고장으로 인하여 1981년까지 遮蔽隔離되어 있었다.稼動期間이 대단히 짧았고 정지한후의 기간도 상당히 되기 때문에 전체 방사능량은 약2,000Ci로서 적다. 1985년부터 해체가 개시될 전망이다.

Gundremmingen發電所는 A, B, C 세개의 B-block으로 되어 있다. 이중 旧타입의 BWR인 Block A가 1966년부터 1977년까지 가동을 한 후 디커미셔닝의 대상이 되고 있다. 현재 원자로건물은 밀폐관리의 상태에 있으며, 터빈건물 및 기계실에서 기기, 배관의 철거 및 제염작업이 진행되고 있다. 이미 電解研磨에 의해 汚染配管 約200톤을 無制限放出레벨(0.37Bq/cm²)까지 제염했고, 일부는 감독관청으로부터 무제한이용의 허가를 받고 있는데 溶解해서 차량의 連結器에 재이용하기로 되어 있다.

英國中央電力廳(CEGB)은 현재 9基의 원자력발전소를 운전중이며, 이중 Berkeley(276MW) 및 Bradw-

ell(245MW)의 원자로는 1962년에 운전개시한 이후 이미 20년이상 경과하고 있다. 이들 원자로의 수명은 당초 20년으로 생각하고 있었는데, 1982년에 다시 재검토를 하여 「앞으로 3년간 원자로의 상황을 점검하면서」라는 조건으로 앞으로 10년간 운전기간을 연장한다고 결론내렸다. 장래의 디커미셔닝에 대한 CEGB의 대책은 Sizewell B發電所(PWR, 1,100MWe)의 建設을 위한 공청회자료에 의해 명백해지고 있는데 要點은 다음과 같다.

① 廢止措置는 세단계로 행한다.

a) 제 1 단계 : 연료반출과 가동중에 발생한 폐기물의 제거

b) 제 2 단계 : 증기발생기, 터빈발전기 등 생체차폐체 이외의 기기, 구조물의 제거

c) 제 3 단계 : 원자로 및 生體遮蔽體의 철거

② 발전소 부지의 재이용을 고려하고 있으므로 CEGB는 即時解體撤去方式을 채택하기를 희망하고 있다.

英國에서의 발전용원자로 디커미셔닝 프로젝트는 Windscale爐(AGR, 33MWe)의 解體撤去計劃이 있다. 이 원자로는 1962년부터 1981년까지 운전되었는데, 1987년부터 해체가 시작된다. 原子爐 및 4基의 熱交換器 등은 해체철거하나, 보조건물은 새로운 이용을 위해 남길 계획으로 되어 있다. 또, 가스爐의 디커미셔닝에서 문제가 되는 Graphite의 처리방법에 대해서는 소각처분에 의하면 대기중의 ¹⁴C含有量을 매우 높히게 되기 때문에 저장처리하기로 되어 있다. 열교환기의 철거에서 切斷解體를 실시하면 작업피폭이 많아지기 때문에 크레인에 의해一體로 꺼낼 계획이다.

프랑스에서의 디커미셔닝 프로젝트는 Rapsodie爐(LMFB-R, 40MWth) 및 Marcoule G-2爐(GCR, 250MWth)의 계획이 있다. Rapsodie爐는 프랑스

최초의 高速増殖實驗爐로 1967년부터 15년간 운전되면서 高速増殖爐技術基盤의 확립, 연료 및 재료의 照射 등에 사용되다가 1982년에 閉鎖되었다. 原子爐의 해체는 1986년부터 예정되고 있으며, 그동안 高速爐의 해체에 따르는 연구테마의 決定, 解體機器의 開發, 除染 등을 실시하기로 되어 있다.

Marcoule G-2爐는 1958년에 운전개시한 가스冷却爐(電氣出力 45MW)인데, 1980년에 정지되어 1982년부터 Stage 1(密閉管理)의 폐지조치가 취해지고 있다. 장차는 해체철거될 예정이다.

캐나다 캐나다에서는 Gentilly-1發電所의 디커미셔닝 프로젝트가 있다. Gentilly-1爐는 1970년에 운전개시한 重水減速輕水冷却爐(HWLWR, 250MWe)인데, 1979년에 정지되어 1980년부터 Stage 1(密閉管理)의 폐지조치가 시작되어서 1982년말에는 一部終了하고 있다. 다른 방식의 폐지조치에 관한 概念設計 및 계획에 대해서도 모두 완료하고 있어 앞으로의 동향이 주목되고 있다.

일본 日本에서도 1977년경부터 日本原子力委員會 등에서 원자로의 폐지조치에 관한 조사, 검토가 추진되어 왔다. 원자로에 대한 기본방침은 1982년에 일본 원자력위원회가 책정한 「原子力開發利用長期計劃」에 의해서 정해져 있으며, 발전용원자로의 폐지조치 기본시나리오 책정이 資源에너지廳에 의해서 추진되고 있다.

또 日本原子力研究所에서도 以前부터 원자로의 폐지조치에 관한 조사연구가 추진되어 왔는데, 1981년도에는 科學技術廳의 委託을 받아 原子爐解體技術開發프로젝트가 시작되었다. 이 기술개발프로젝트는 두단계로 추진되는데, 원자로해체에 필요한 要素技術을 개발하고 이어서 개발한 기술을 이미 운전을 중지하고 있는 J-

PDR(BWR, 12.5MWe)의 해체에 실제로 적용해서 實證하는 것이다.

이 기술개발의 특징은 시스템엔지니어링, 방사능 인벤토리 評價, 除染, 解體, 遠隔操作, 放射線管理, 廢棄物處理 등 原子爐解體에 필요하다고 생각되는 기술분야 전체를 포함하여 토털 시스템으로 原子爐解體技術의 확립을 목표로 하고 있는 점과 개발한 성과를 JPDR의 해체에 적용하여 실제로 기술의 실증을 도모하려는데 있다. 이 프로젝트의 기간은 要素技術의 개발에 약5년, JPDR解體實地試驗에 약5년을 계획하고 있으며 전체 약10년에 걸치는 것이다. JPDR解體實地試驗은 1986년부터 개시될 예정인데, 개발기술을 실증할 수 있는 기회를 제공할 뿐만 아니라 그 선구적인 해체경험을 통해서 수많은 유용한 지식, 데이터를 제공할 것이라고 한다.

4. 結 論

近年 미국에서는 원자력발전소의 건설중지가 계속되는 등 原子力界에 있어서는 심각한 상황이 되어가고 있다. 이와 같은 상황에서도 Shippingport爐의 디커미셔닝 프로젝트가 추진되고 있다.

한편 일본에서도 1963년에 처음으로 原子力發電에 성공한 이후 각종 시험연구, 燃料照射試驗, 運轉員의 양성 등 일본 원자력발전의 선구적 역할을 해온 JPDR가 原子爐解體撤去의 모델로 다시 등장하고 있다.

그 외에도 영국, 서독, 프랑스, 캐나다, 이탈리아에서 각각 디커미셔닝 프로젝트 계획을 가지고 있으며 최근 OECD-NEA에서 이들 프로젝트에 대해 국제협력연구를 발족시키고 있다.

原子力發電의 가일층 정착화를 위해서는 원자력발전소의 Life Cycle을 통해서 안전성 및 경제성을 확립할 필요가 있다. 가까운 장래 세계에서 추진중인 디커미셔닝 프로젝트는 「原子爐解體技術의 確立」을 도모할 것으로 기대된다.