

# 디커미셔닝의 現況과 經驗

## - Shippingport 原電을 中心으로 -

### I. 概 要

世界에는 현재 15개국에서 135基의 原子力發電所가 가동되고 있다. 動力爐에서 實驗爐까지 종류와 크기면에서 무척 다양한 이들은 운전수명을 다하면 결국에 가서는 디커미셔닝을 해야 할 상태에 달하게 된다. 디커미셔닝에는 특별한 상황이 부여되긴 하지만 특수장비나 기술은 많이 필요하지 않게 된다.

또한 각국에서는 이 기술과 공정을 단순화시키기 위해 노력하고 있으며, 原子爐를 최소의 경비로 분해하여 안전한 상태로 原電敷地를 전환시킬 수 있는 목적으로 IAEA나 EEC를 통한 국제적인 협력도 이루어지고 있다.

한편 實證프로젝트에서는 대개의 原子爐를 stage 1이나 stage 2에서 수년간 보존토록 하는 방식이나 강대국에서는 이 방식보다는 原子爐를 완전히 해체하여 그 부지를 다른 용도에 사용될 수 있도록 연구중이다. 이와 더불어 이미 개발된 특수장비와 기술의 선택에 대해서는 많이 논의되고 있으며, 이 프로젝트는 금세기 말까지는 증가되는 부하에 대해 국제적으로 공식화할 수 있는 실질적인 자료를 각나라, 국제적인 코드 그리고 규제기관에 제공하는 것이다.

動力爐의 경우 구성에 대해서는 많은 정의가 있으나 NEI가 발행한 Power Reactor Directory는 곧 운전중지될 3基의 小型爐(EBR-1, PM-2A, PM-3A)를 포함시키고 있다. 따라서 그 出力이 1.5MWe부터 257MWe까지 다양하

다. 表1은 IAEA의 정의에 따라 3개의 stage로 나뉘어진 것으로 stage 1은 原子爐에서 燃料를 제거하여 안전하게 한 상태에서 유지토록 하고, stage 2는 發電所外部의 生體壁을 제거하고 오염된 증기발생기 등을 분해, 제거한 상태이다. 이 방식은 몇번 實證된 바 있다. 또한 Stage 3은 原子爐를 解體撤去하여 부지를 재 활용토록 하는 방식이다.

### II. Shippingport-最初の 商業爐

Shippingport原電은 4-루프방식의 72MWe, 加壓輕水爐(PWR)인데 배모양의 原子爐室과 건물에 2개의 原子爐冷却루프를 가진 2개의 보일러室으로 이루어져 있다. 콘크리트遮蔽壁은 방사선레벨을 낮추기 위해 루프들과 분리되어 있으며, 이때 이 루프들중 하나는 메인터너스가 필요하다.

原子爐格納室은 다른 3개의 格納容器와 연결된 대형수송관으로 연결되어 있으며, 4개의 鋼鐵格納容器는 콘크리트돔 하부에 原子爐格納室의 콘크리트돔에 연결된 核燃料再裝填管과 함께 장치되어 있다. 핵연료조정건물은 原子爐格納室과 再裝填管을 포함하며, 방사화된 폐기물 처리시설과 열발산시스템 및 액체저장탱크를 위한 많은 탱크들은 플랜트를 보조하는데 이용되었다.

Shippingport原電은 디커미셔닝의 초기단계부터 계속적으로 추진되어온 프로젝트인데 건

〈表1〉 Shut down development and power reactors

Country	Station(location)	Operator	Type	MWe (net)	Commercial operating dates	Current decommissioning stage(planned action)
Canada	Gentilly 1 (Becancour, Que)	Hydro-Quebec	BLW(Candu)	250	1972-1980	1 (3)
	Douglas Pt (Tiverton, Ont)	Ontario-Hydro	PHW(Candu)	206	1986-1984	1
Czechoslovakia	Bohunice A1 (Jaslovske, Bohunice)	Slovak Energy Corp(CPW)	GCHWR	104	1972-1979	1
France	Marcoule G1 (Bagnols-sur-Ceze)	CEA	GCR	3	1956-1968	2(for 30years)
	Marcoule G2 (Bagnols-sur-Ceze)	CEA	GCR	36	1958-1978	1(2 in six years, 3 in 20years)
	Marcoule G3 (Bagnols-sur-Ceze)	CEA	GCR	36	1959-1983	1(2, 3being planned)
	Chinon A1 (Avoine)	EdF	GCR	70	1963-1973	1(3, start 1993)
	Rapsodie (Cadarache)	CEA	FBR	40MWt	1967-1982	Dismantling in progress
Germany FR	Kahl VAK (Karlstein)	VAK	BWR	15	1961-1985	Due to shut down October 1985
	MZFR(Karlsruhe)	KfK	PHWR	52	1966-1984	1(2, started 1984)
	KRB A(Gundremmingen)	KRB	BWR	237	1966-1977	1
	KWL(Lingen)	KWL	BWR	256	1968-1977	1(for 20years)
	HDR(Grosswelzheim)	HBG	BWR	25	1970-1971	1 and 2, used for research(3)
	KKN(Niederaichbach)	KKN	GCHWR	100	1972-1974	2(3 by 1990)
Italy	Garigliano (Sessa Aurunca)	ENEL	BWR	150	1965-1978	1(for 30years)
Japan	JPDR(Tokai-Mura)	JAERI	BWR	10	1963-1976	1 in progress(3 by 1990)
Sweden	Agesta(Stockholm)	SSPB	PHWR	10	1964-1974	1(3 study in progress)
	Marviken(Norrkoping)	SSPB	BHWR	130	1969-1970	1, used for research
Switzerland	Lucens CNL (Nr Lausanne)	ESO	GCHWR	7	1968-1969	3
United Kingdom	DFR (Dounreay)	UKAEA	FBR	13	1962-1978	1, 2 in progress(3)
	WAGR (Sellafield)	UKAEA	AGR	28	1963-1981	1 in progress(3 in period 1987-1993)
	Dragon (Winfrith)	UKAEA	HTGR	20MWt	1964-1976	2(area used for labs)

Country	Station (location)	Operator	Type	MWe (net)	Commercial operating dates	Current decommissioning stage(planned action)
United States	EBR 1(Scottsville, ID)	Argonne*	FBR	0.15	1951-1963	3(converted for public access)
	EBWR(Lemont, IL)	US DOE	BWR	4.5	1956-1967	1(3 to start 1987)
	Vallecitos VBWR(Pleasanton, CA)	GE/PG&E	BWR	10	1957-1963	1
	Shippingport (Shippingport, PA)	Duquesne*	PWR later modified to LWBR core	60	1957-1982	1(3, dismantled by 1988)
	SRE(Santa Susanna, CA)	So Cal Ed/AEC/AI	Graphite-moderated, sodium-cooled	7.5	1957-1967	3 in 1984, building re-used
	Dresden 1 (Morris, IL)	Comm. Ed.	BWR	200	1960-1978	1(will be mothballed until Dresden 2 and 3 are also retired and then all three will be decommissioned, around 2015)
	PM-2A(Greenland)	USAEC	PWR	1.5	1960-1963	3, dismantled 1964
	Indian Point 1(Buchanan, NY)	Con. Ed.	PWR	257	1962-1980	1 (3)
	Hallam (Hallam, NB)	NPPD*	Graphite-moderated, sodium-cooled	75	1963-1964	2, entombed
	Saxton (Saxton, PA)	SNE	PWR	4	1962-1972	1
	Humboldt Bay(Eureka, CA)	PGE	BWR	63	1963-1976	1(3 by 2010)
	Piqua(Piqua, OH)	City of Piqua*	Organic-cooled and moderated	11.4	1963-1966	2, entombed
	Elk River (Elk River, MN)	RCPA*	BWR	22	1964-1968	3
	Carolina V-TR(Parr, SC)	CVNPA/SCE-GE	HWR	17	1962-1968	1
	GE EVESR (Pleasanton, CA)	GE	BWR	5	1965-1967	1
	Bonus(Puerto Rico)	PRWRA	BWR	15	1964-1968	2, entombed
	Fermi 1 (Monroe, MI)	PRDC/DE	FBR	57	1966-1973	1
	Peach Bottom 1(York Co, PA)	PEC	HTGR	40	1967-1974	1(3 by 2028)

\* Owned by US DOE. Operator abbreviations : VAK-Versuchatomkraftwerk Kahl; ESO-Energie de L'Ouest Suisse; So Cal Ed/AEC/AI-Southern California Edison/United States Atomic Energy Commission/Atomic International; NPPD-Nebraska Public Power District; SNE-Saxton Nuclear Experimental; PGE-Pacific Gas and Electric; RCPA-Rural Co-operative Power Association; CVNPA/SCEGC-Carolinas Virginia Nuclear Power Associates/Southern Carolina Electric and Gas Co.; PRWRA-Puerto Rico Water Resources Authority; PRDC/DE-Power Reactor Development Co./Detroit Edison; PEC-Philadelphia Electric.



물은 최소 1m간격으로 제거될 것이고, 표면하부는 1m깊이로 제염될 것이다. 또한 필요하다면 빈 공간은 자갈로 1m깊이로 메꿀 것이다. 상부 오염은 제한없이 사용할 수 있는 부지가 되도록 지표면에서 최고 1m정도 되도록 덮을 것이다.

核燃料의 제거는 지난 '84년 여름에 완료됐으며, 9월6일 마지막 核燃料가 Hanford貯藏所로 출발했다.

디커미셔닝은 금년 1월부터 시작해서 1988년 8월까지로 계획되어 있다. 물리적인 디커미셔닝은 올 9월부터 실시될 예정이다(表2).

1. 프로젝트의 特徵

Shippingport프로젝트는 두가지 특징이 있는데 첫째 1次系統의 디커미셔닝이 다루어지지 않았고, 둘째 原子爐壓力容器가 한 조각으로 제거될 것이라는 내용이다. 이것은 방사선의 레벨이 낮아 1次系統과 原子爐格納室 및 전체 原子爐시스템의 제염은 필요하지 않기 때문이다.

전체 프로젝트 작업수행에서 추정된 被曝量은 1,000man-rem이며 제일 많은 人力이 필요

할 때는 250~300명 정도가 투입될 예정이다. Shippingport에서 또 하나의 색다른 현상은 中性子遮蔽탱크와 관련된 壓力容器의 제거도 한 개의 조각으로 제거하려는 것으로 이렇게 함으로서 약7백만달러를 절약할 수 있고 被曝量도 100man-rem까지 낮출 수 있으며, 공사기간도 일년은 단축시킬 수 있다.

이러한 시도는 1960년대에 건설된 商業爐와 현재 운전되고 있는 1,100MWe級 大型原子力發電所에 많은 정보를 제공하게 될 것이다. 이는 Shippingport原子爐가 壓力容器와 中性子遮蔽탱크는 1,100MWe級 PWR과 크기가 같고 B-WR原子爐의 전형적인 직경과 같기 때문이다 (그림1).

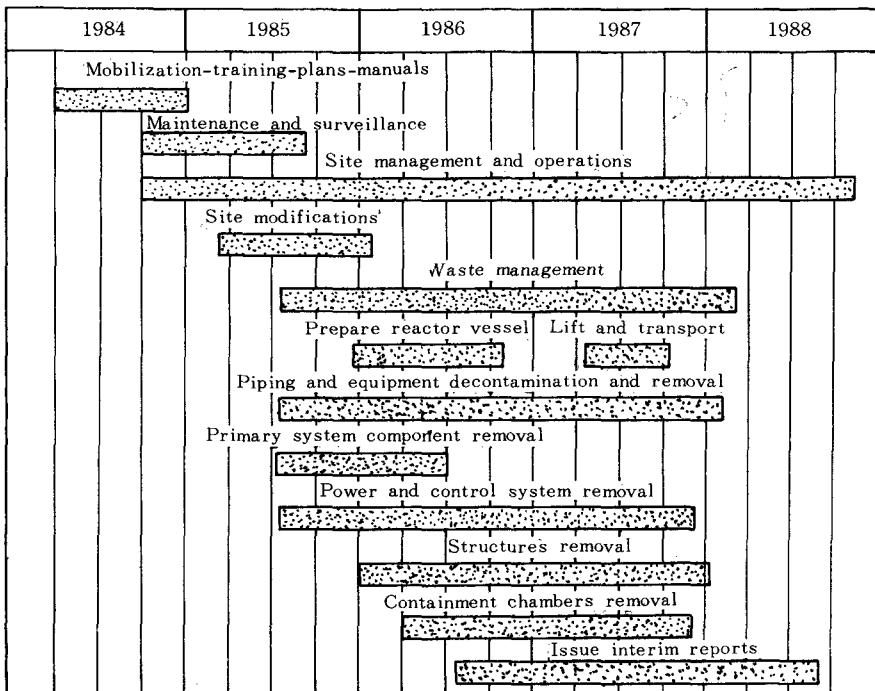
2. 裝備와 技術

여러종류의 다양한 技術이 프로젝트가 실시되는 기간중에 적용될 예정인데 사용될 장비를 살펴보면 다음과 같다.

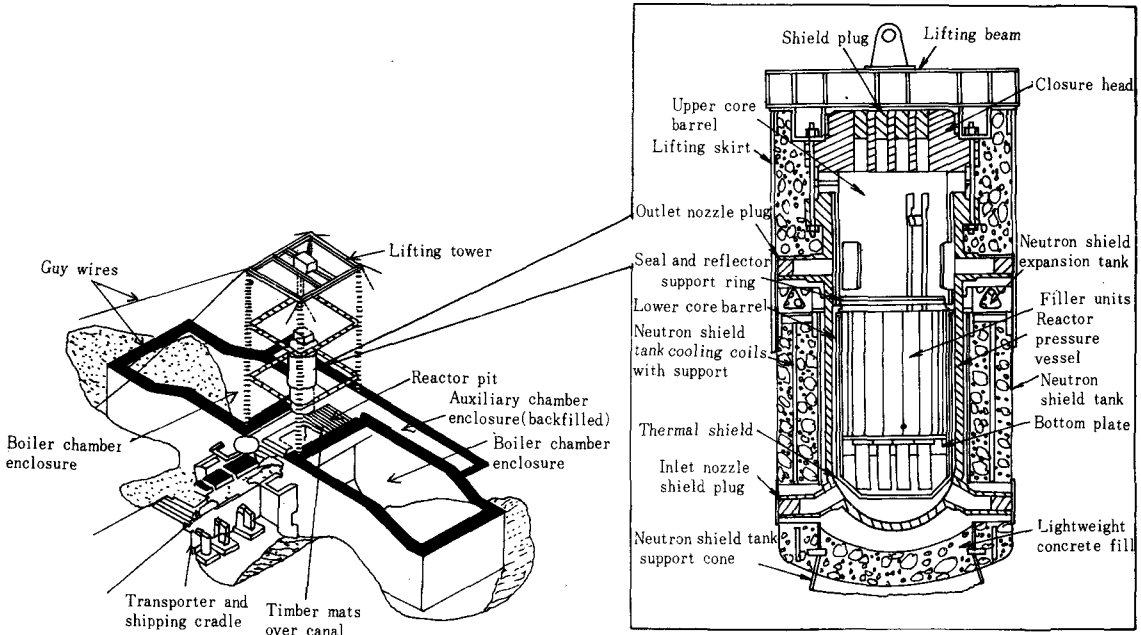
2. 1. 遠隔金屬切斷裝置

플라즈마아크나 레이저비임을 사용한 절단보

〈表2〉 Shippingport decommissioning schedule



〈그림 1〉 Lifting the Shippingport reactor pressure vessel/neutron shield tank package in one piece. The inset shows a cross-section of the package.



다는 여러 기계적인 절단프로세스가 저렴하므로 Shippingport에서 적용되었다.

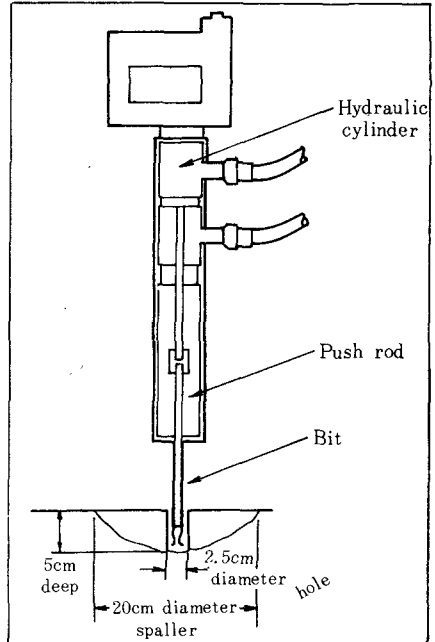
또한 原子力플랜트의 메인터넌스에서 이미 성공적으로 사용된 바 있는 쇠톱, 水力과 壓縮空氣를 이용한 鐵板剪斷機, 회전절단기, 등 각종 절단기가 사용될 예정이다.

수면아래에서의 플라즈마아크절단은 高레벨로 오염된 부품들의 절단에 이용될 수 있는데, 이 프로세스는 원격조정으로 어떠한 종류의 金屬도 15cm두께까지 절단이 가능하다. 좀더 두꺼운 金屬은 1m까지도 가능한데 플라즈마아크 토치는 아크써로 교환이 가능하다. 그러나 이 방법은 高價이기 때문에 국한된 장소에서만 사용될 것이다.

2. 2. 콘크리트除去裝置

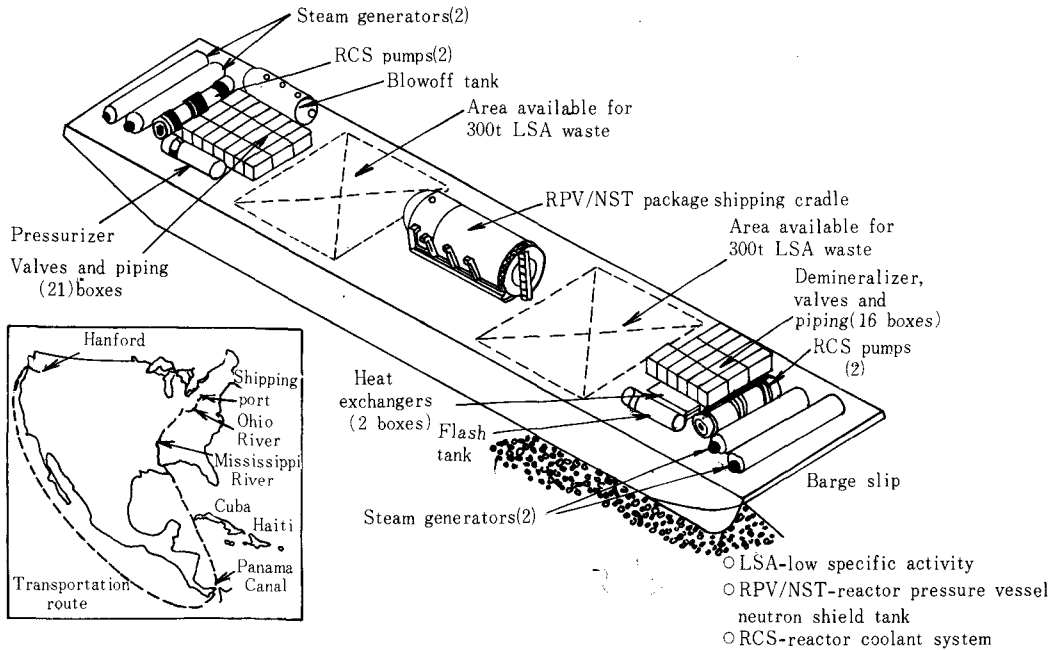
오염된 콘크리트의 제거는 콘크리트가루 및 콘크리트제거프로세스의 콘트롤이 필요하게 된다. 바닥과 벽은 scabble法에 의해 넓은 지역을 약 2mm깊이로 효과적인 제염이 가능하며, 이

〈그림 2〉 Spalling devices



들 조각들은 濾過필터가 장치된 진공시스템으로 쉽게 처리할 수 있다. 또한 그림 2와 같은 破碎裝置를 이용해 2~25mm까지도 오염된 콘

〈그림 3〉 The reactor pressure vessel/neutron shield tank package and other components on the ocean-going barge and transportation route



크리트의 제거가 가능하다. 또한 워터캐논이라고 알려진 高壓제트破碎機는 좁은 장소에서 효과적으로 오염콘크리트를 제거해낼 수 있다.

이 장치는 한번의 발사로 약 8 cm 정도가 제거되며, 高強化콘크리트의 경우 1m<sup>2</sup>의 콘크리트를 제거하는데 250번 정도의 발사가 요구된다. 한편 Shippingport 原電에서는 오염된 콘크리트를 제거하는데 획일적인 장치를 요구하지 않았다. 이는 방사선을 보호할 수 있도록 設計되었기 때문인 것이다.

### 2.3 除 染

앞서 언급한 바와 같이 1次系統은 제염하지 않으나 오염된 파이프와 부품들은 후에 제염에 사용되었다면 제염될 것이다. 일반적인 線量率을 낮추기 위해 高壓이면서 적은 부피의 워터랜스유니트는 燃料貯藏所 管壁 및 받침대의 표면오염을 낮추는데 사용될 예정이다.

### 2.4. 廢棄物 體積減縮

약 2백만 리터의 오염된 물이 액체저장탱크와

燃料調節管에 채워져 있다. 반면 상대적으로 放射化정도가 낮아 대개의 물은 필터를 통해 특수한 물질을 제거한 후 방출범위내에 입증된 것만 방출하게 된다. 또 약 100,000 l의 액체는 얇은 필름을 이용한 脫水法에 의한 放射化廢棄物處理시스템을 통해 처리된다. 이때 발생하는 沈積物은 시멘트固體化處理法을 이용, 처리될 것이다.

低레벨의 固體廢棄物 體積減縮은 水壓컴팩터를 사용하고 레진저장탱크의 레진 약 60m<sup>3</sup>도 이를 이용하게 된다. 그 후 이 레진은 완전히 격납된 컨테이너에서 수분을 제거하여 정부의 廢棄物貯藏所로 운반된다.

### 3. 運 搬

디커미셔닝의 과정에서 발생한 廢棄物은 4,000 톤의 바지船에 실려 DOE의 Hanford 貯藏所로 운반된다. 이 배는 오하이오강을 따라 뉴올리언즈에서 바다를 통해 파나마운하를 거쳐 Hanford에서 하역된다(그림 3).