

원자력 시설 해체비용 산정에 관한 고찰

A Study of the Decommissioning Cost Estimation for Nuclear Facilities

DongGyu Lee, KwanSeong Jeong, KuneWoo Lee, WonZin Oh

Korea Atomic Energy Research Institute, 150 DuckJin-Dong, Yusung-Ku, Daejeon

이동규, 정관성, 이근우, 오원진
한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

Abstract

This paper is to study on the decommissioning cost estimation for nuclear facilities of advanced nuclear organizations and countries for deriving the cost factors to be taken considerations into accomplishing decommissioning projects. Of cost categories producing the factors of decommissioning costs, dismantling and waste processing & disposals activities are examined to increase the its costs. Of labor, materials and other costs categories, labor costs are summarized to have overall majorities in the decommissioning cost factors. The main parameters of all factors affecting the decommissioning costs are analyzed as work difficulty, regional labor costs, peripheral cost, disposal cost and final burial costs.

Key Words : Decommissioning, Decommissioning costs, Cost Estimation

요 약

연구로 및 원자력 시설 해체작업 수행 시 고려해야 할 여러 가지 비용인자를 고찰하기 위하여 OECD 국가 및 원자력 선진국의 연구용 원자로 및 원자력 시설 해체비용에 대한 추정 결과의 영향 인자를 중심으로 분석하였다. 여러 가지 해체 비용을 유발하는 범주에서 원자력 시설 철거활동과 폐기물 처리 활동이 가장 많은 비용이 발생하는 것으로 예상되고 있고, 노동인력비용, 재료비 기타 비용 중에서 노동 인력 투입에 대한 비용이 가장 많이 차지한 것으로 나타났다. 해체비용에 영향을 미치는 주요 변수로는 Work difficulty, Regional labor cost 차이, Peripheral cost, Disposal/final burial costs 으로 조사되었다.

중심단어 : 해체, 해체 비용, 비용 산정

1. 서 론

전 세계의 원자력 시설이 점차 가동 중지되고 있고, 현재 약 80개 원자력발전소와 약 350개 연구용 원자로가 해체되었거나 해체단계에 와있다. 국내에서는 연구용 원자로(이하 '연구로') 1, 2호기 (TRIGA Mark II & III) 효용가치가 상실되어 운전을 정지하고 1997년부터 해체가 시작되었다 [1]. 연구로 2호기에 대한 해체활동을 바탕으로 연구로 및 원자력 시설 해체에 대한 비용산정을 하는데 있어서 기준이 되는 영향인자를 분석하여 해체비용 평가 방법론을 확립하고자 한다.

영향 인자를 바탕으로 하는 해체 비용 산정은 크게 3단계로 구성된다. 첫째로, 비용산정을 위한 기본적인 기준과 지침을 제공하기 위한 단계이다. 비용에 영향을 줄 수 있는 요인을 체계적으로 분류하여 각 요인별로 설정 가능한 레벨의 선택을 수행하는 과정이다. 둘째로, 선택된 각 기준을 근거로 하여 실제의 해체작업에서 필요한 작업의 분류 및 소요 자원의 산정과 항목별 비용을 산정하는 것으로써, 해체 비용 산정의 핵심적인 부분에 해당된다. 셋째로, 산출된 항목별 비용을 용도 및 목적에 맞게 재구성하여 전체의 비용을 산출하는 과정이다.

해체 비용 산정의 과정을 통해서 볼 때, 우선적으로 요구되는 것은 해체비용에 영향을 주는 요인의 분석과 이에 대한 기준의 설정이라고 할 수 있다. 특히 원자력 시설에 관계된 작업분류 및 산출비용 자료의 특성기준을 설정하는 것이 아주 중요하다.

해체 비용 구성요소에는 모든 알려진 비용과 알려지지 않은 것에 대한 식별 인자 그리고 수집 가능한 설계단계를 기초로 한 주변비용, 간접비 등에 대한 비용이 반드시 포함되어야 한다. 해체 비용 산정에는 가능한 한 알려지지 않은 요소를 배제하는 게 좋다. 그 이유는 해체작업을 수행하는 동안 기준, 방법 또는 매개변수가 변화됨으로써, 본래 비용 수치가 알려진 자료를 근거로 추정을 해야 이에 대한 조정이 보다 더 쉽고 정확하게 이루어질 수 있다.

본 논문에서는, 연구로 및 원자력 시설 해체작업 수행 시 고려해야 할 여러 가지 비용인자를 고찰하기 위하여 OECD 국가 및 원자력 선진국의 연구용 원자로 및 원자력 시설 해체비용에 대한 연구 결과의 영향 인자를 중심으로 분석하였다.

2. 원자력시설 해체비용 산정을 위한 비용항목 분류

2.1 연구용 원자로 및 실증로에 대한 US NRC 해체비용 산정

Research reactor와 test reactor를 reference reactor 대상으로 해체비용을 산정하고 있다. 연구용 원자로(Research Reactor)는 Oregon State University TRIGA reactor(OSTR)를 참조 대상으로 하고 있다. OSTR은 1000 kWt, open-pool, TRIGA형 노심 및 제어계통으로 된 원자력 교육 및 연구 시설이다. 실험로(Test Reactor)는 NASA의 Plum Brook Reactor Facility(PBRF)를 참조 대상으로 하였다. PBRF는 실험로와 연구로를 구성으로 하고 있다. 실험로(test reactor), Plum Brook Reactor(PBR)은 60 MWt, 경수 냉각재를 사용한다. 연구로(research reactor), Plum Brook Mock-up Reactor(MUR)는 저출력(100 kWt) swimming pool형 연구로 이다. PBR, MUR 모두 1973년에 운전정지 되었다[2].

두 참조 원자로 해체에 대한 비용 산정을 하기 전에 설정한 기본 가정은 다음과 같다.

- 해체 staff는 플랜트의 기술적 운전 인력투입은 가능한 최대
- 모든 지원 활동과 부분 지원 인원 구성은 계획 및 준비기간 동안 해체 프로그램의 일반적인 비용의 수준에서 활용
- 수정된 원자력 시설 인허가는 최종 운전 정지에 기초를 두며, 해체활동은 곧바로 개시

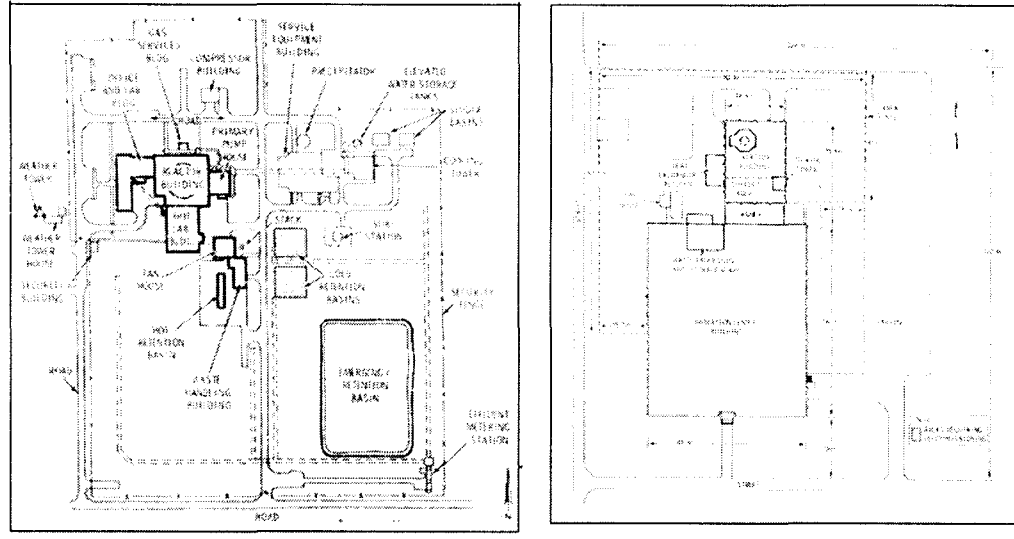


그림 1. Reference Test Reactor 개념도 그림 2. Reference Research Reactor 개념도

Cost Category	Estimated Costs (\$)	Percent of Total(%)
Disposal of Radioactive Materials	86,290	12.8
Neutron-Activated Materials	16,610	
Contaminated Materials	60,060	
Radioactive Wastes	9,620	
Staff Labor	5,30,570	78.4
Energy	13,790	2.0
Special Tool and Equipment	21,150	3.1
Miscellaneous Supplies	6,210	0.9
Nuclear Insurance	4,620	0.7
License Fees	13,950	2.1
Total	676,580	100.0
Other Possible Costs		
Spent Fuel Shipment	60,980	-
Facility Demolition & Site Restoration	1,96,750	-

표 1. Reference Research Reactor에 대한 비용 산정

Cost Category	Estimated Costs (\$)	Percent of Total(%)
Disposal of Radioactive Materials		
Neutron-Activated Materials	131,000	
Reference Test Reactor	4,000	20.7
Mock-Up Reactor (MUR)	2,338,000	
Contaminated Materials	99,000	
Staff Labor	863,000	69.3
Energy	76,000	0.6
Special Tool and Equipment	361,000	2.9
Miscellaneous Supplies	203,000	1.6
Special Contractors	616,000	4.9
Nuclear Insurance	-	-
License Fees	-	-
Total	12,458,000	100.0
Other Possible Costs		
Spent Fuel Shipment	204,000	-
Facility Demolition & Site Restoration	2,289,000	-

표 2. Reference Test Reactor에 대한 비용 산정

2.2 OECD/NEA 협력 프로그램에 의한 해체비용 산정

OECD/NEA의 해체 협력프로그램에서는 해체 프로젝트에 대한 연구로 및 실증로와 같은 다양한 원자력 시설에 대하여 비용 산정 방법을 협력하고 있다. 협력활동에 대상으로 한 원자로는 실험로 및 실증로는 Shippingport, BR3-PWR, WAGR, MZFR, JPDR, 상업용 규모의 원자력발전소는 KWL, EWN, Vandellos 1, Fort St. Vrain이고 재처리시설은 Eurochemic, AT-1, B204, West valley, WAK 시설이다[3].

OECD/NEA에서는 원자력 시설에 대한 해체 비용 산정을 하기 위하여 다음과 같이 기본 가정을 설정하고 있다.

- 해체 비용은 운전 정지 시부터 원자로 부지의 녹지화까지에 드는 모든 비용을 포함
- 핵연료 재처리공장뿐만 아니라, 모든 형태의 연구용 및 발전용 원자로에 적용되며 원자력 설비의 수명연장 및 일괄 철거 등을 망라
- 재처리와 같은 핵연료주기의 후행비용과 2차 폐기물의 처리 또는 핵연료의 중간저장, 최종처리는 비용에 포함되지 않음

모든 원자력 시설의 해체 활동에 들어가는 비용을 산정하고 분류한 결과 다음과 같은 비용 그룹 및 범주로 분석하고 있다.

이와 같이 비용기준을 설정할 경우 모든 원자력시설에 대하여 일치하지 않는데 그 이유는 다음과 같다.

- Pre-decommissioning actions : 인허가 비용이 없거나 프로젝트에 포함되어 있지 않으므로 몇 프로젝트에서 국부적 환경으로 인해 인허가 비용은 낮거나 언급되어 있지 않을 수 있다.
- Facility shutdown activities : 몇몇 해체활동은 긴 예비 해체 작업주기가 나타나지 않으나, 설비 운영에 포함됨에 따라 적은 비용수치들을 보여주고 있다. 다른 해체프로젝트에는 예측하지 못한 시설 정지 때문에 모든 작업자가 실제의 해체 주기를 준비하면서 머무르는 지연된 정지 주기를 다루고 있는 요인으로 높은 비용이 나타난다.
- Procurement of Equipment and Material : 몇몇 해체프로젝트에는 해체가 정상 작업으로부터 현지에 가능한 장비를 사용하여 수행되거나 긴 밀폐 주기 구성 요소들에 사용된 철거 방

법이나 낮은 방사능 준위 때문에 특수 장비가 기대되지 않음으로 인하여 낮은 비용 수치가 보여 지고 있다. 다른 프로젝트에서는 해체가 가능하도록 특수 장비도구들을 요구하는 특별한 설치 특성상 고비용이 들어간다.

- Dismantling Activities : 긴 밀폐 주기 때문에 철거 작업에 대한 비용이 낮을 수 있음에 따라 낮은 철거 비용이 주어진다. 다른 프로젝트들에서 기타 비용, 즉, 분리하여 확인될 수 없는 긴 1단계 준비 주기에 관계된 비용들을 포함하기 때문에 비용이 높게 나타난다.
- Waste Management and Disposal : 일부에서는 처리시설의 부재로 인해 최종 해체비용이 포함되지 않는다. 다른 프로젝트에서는 재처리로부터의 고준위 액체 폐기물의 유리화 때문에 폐기물 처리비용이 높게 보고되었다. 해체 작업 하에서 이러한 비용들을 고려하는 것은 보편적이지 않다.
- Security, Surveillance and Maintenance : 긴 밀폐 주기를 가지는 해체 프로젝트에서는 보안, 감독 및 유지비용이 지극히 높게 나타났으나, 철거 비용은 낮았다.
- Site Clean-up and Landscaping : 이 비용은 저비용을 나타내는 프로젝트는 해체 후 건물 파괴를 포함하지 않는다.
- Project Management, Engineering and Site Support : 특별한 불일치가 나타나지 않음.
- Research and Development : 몇몇 프로젝트에서는 작업 조건의 긴 밀폐 주기의 기법 향상 예상 때문에 별도의 R&D 비용이 포함되지 않는다, 다른 프로젝트에서는 R&D 특성이 프로젝트 자체의 목적 중의 일부이므로 비용이 높게 나타난다.
- Other costs : 일부 프로젝트에서는 준비금이나 예비비가 책정되지 않았으므로 비용이 낮게 나타난다.

Cost Groups	Percent of total(%)
Pre-decommissioning Operations	4.2
Facility Shutdown Activities	6.5
Procurement of Equipment and Material	8.6
Dismantling Activities	24.5
Waste Management and Disposal	9.8
Security, Surveillance and Maintenance	14.7
Site Clean-up and Landscaping	2.1
Project Management, Engineering and Site Support	13.2
Research and Development	7.4
Fuel	0.0
Other costs	8.9
Total	100.0

표 3. OECD/NEA 협력활동을 통한 해체비용 그룹

Cost Groups	Percent of total(%)
Labor Costs	56.8
Capital Equipment and Material	22.0
Expenses	21.2
Total	100.0

표 4. OECD/NEA 협력활동을 통한 해체비용 범주

3. 산정된 해체비용

3.1 AFRRI TRIGA 해체비용

AFRRI TRIGA는 Armed Forces Radio-biology Research Institute에서 연구용으로 운영하고 있는 원자력 시설이다. AFRRI TRIGA는 전형적인 TRIGA 원자로 형이다. 냉각재는 경수이며, 원형 격자 배열에 우라늄/지르코늄 hydride 연료 성분을 사용하는 swimming-pool 형 원자로이며, 최대 정상상태 출력은 1.1MW이고 최고 출력은 3000 MW이다[4].

AFRRI에서는 TRIGA 원자로 시설을 위한 포괄적인 해체계획을 수립하기 위한 첫 번째 단계로 아래와 같은 목적으로 해체 비용을 산정하고 있다.

- DECON(즉시해체) 방법을 해체 방법으로 선정
- 해체를 안전하게 수행하는 데 필요한 주 기술적 조치사항들
- 해체과정 동안 물질에 대한 실제 방사선 준위 조사를 하기 위한 여러 가지 계획
- 고준위 및 중준위 방사성폐기물 처분 계획
- 무제한 사용이 가능하도록 부지 철거 및 복원에 대한 계획
- DECON 과 해체를 위한 정밀한 비용 산정

AFRRI TRIGA 연구용원자로 시설의 해체작업은 크게 '사용후핵연료 제거', '해체' 그리고 '부지 복원'으로 구성한다고 가정하여 산정을 하고 있다.

AFRRI TRIGA 연구용원자로 해체 시 투입되는 인력에 대한 Labor Costs를 아래 표 7 처럼 장비, 특수계약, 사회보장보험, 수수료 등 간접비로 구분하여 산정을 하고 있다.

AFRRI TRIGA 에서 제거될 폐기물 대부분은 조사실에서 나온 방사화 콘크리트, 목재, 원자로 탱크에서 나오는 알루미늄, 원자로 노심 지지 구조로 구성되어 있다. AFRRI에서는 비용 추정을 하기 위하여, 저준위 방사성 폐기물 처분 콘크리트 부피는 두 조사실에서 1 피트 깊이에서 발생된 콘크리트 이다. 실제 오염된 콘크리트는 부피는 아래 표보다는 적을 것으로 예상을 하고 있다. 해체 예산 산정을 좀 더 보수적으로 하기 위한 오차로 오염 콘크리트에 대한 과추정치를 허용을 하고 있다.

Waste Material	Volume (m ³)	β (Mg/m ³)*	Mass (mg)	Crates (no)	Shipping	Cost**
오염 콘크리트	102.40	2.3	233.5	30	\$44,320.42	\$345,049.43
오염 목재	76.82	0.7	53.8	23	10,119.25	235,922.40
오염 알루미늄	1.36	2.7	5.0	1	945.05	6,589.54
원자로용기	N/A	N/A	0.9	1	169.05	1,613.26
Total						\$589,179.63

N/A, not applicable

*Mg, Megagramme

**Cost = (cost/crate)(# of crates) + shipping costs + disposal costs

표 5. AFRRI TRIGA 해체를 위한 추정된 폐기물 처분 비용

Staff position	Workyears (no.)	Rate (\$1,000/hr)	Cost (\$1,000)
Management and staff			
Decommissioning superintendent	2.0	89.1	178.20
Decommissioning engineer	2.0	76.0	152.00
Secretary	2.0	24.2	45.40
Clerk	0.5	24.2	12.10
Health Physics	2.0	46.9	93.80
Radioactive shipment specialist	0.5	39.3	19.65
Procurement specialist	0.5	39.3	19.65
Contract and accounting specialist	0.8	47.1	57.63
Security supervisor	0.625	55.9	34.94
Security patrol officer	3.6	25.4	91.44
QA engineer	0.7	46.9	32.83
Control room operator	1.0	34.5	34.50
Consultant	1.0	100.0	100.00
Decommissioning workers			
Shift manager	1.0	52.2	52.20
Craftsman	2.0	32.1	64.20
Crew leader	0.5	44.4	22.20
Utility operator	0.342	32.1	10.98
Laborer	6.0	30.9	185.40
Health physics technician	3.0	30.0	90.00
Total	30,067	N/A	\$1,250.17

표 6. AFRRRI TRIGA 해체비용 산정 결과

Cost Categories	Cost (\$1,000)	Percent of Total (%)
Waste Disposal	589.2	23.3
Labor	1,929.3	76.4
Energy	5.6	0.2
Total	2,524.1	100

표 7. AFRRRI TRIGA 해체 비용 범주

3.2 Maine Yankee 해체비용

Maine Yankee는 1972년에 첫 운전을 개시하여 1996년에 경제적 이유와 발전소 운전의 불확실성으로 인하여 최종 운전을 정지 하였다. 총 운전 기간 동안 118.7 billion kWh 전기를 생산하였다. 현재 아래 그림과 같이 약 86% 해체 작업이 진행되고 있다[5].



그림 3. Maine Yankee 해체작업 현황

Maine Yankee에서는 원자력 시설을 해체하기 위해 사전 준비 작업으로 부지특성에 맞는 해체비용 산정 방법에 대한 기준을 설정하고 있다. 해체비용 산정의 기준으로 비용 요소에 대한 평가 요구사항을 아래와 같이 설정하고 있다.

- 임시 인자를 포함한 소요 비용
- 주요 해체 활동 및 작업
- 단위 비용 인자
- 장비와 구조물에 대한 제염 및 제거의 산정 비용
- 처분 부지에 적용 가능한 폐기물 처분 산정 비용
- 최종 부지 조사비용 산정
- 총 비용 산정

비용 산정은 투입인력, 재료, 장비, 에너지 등 상세한 작업 활동을 바탕으로 하고 있다. 비용 산정은 단위비용 인자와 site specific 그리고 방법론에 따른 일정을 고려하여 아래 표와 같이 해체 비용을 산정하고 있다.

Categories	Costs*	Percent of Total(%)
Plant Radiological Decontamination		
- Staffing	105,789	32.2
- LLW Burial	75,244	22.9
- Equipment Removal	51,439	15.7
- LLW Packaging and Shipping	19,344	5.9
- Decontamination Activities	7,402	2.3
- Other Costs	69,327	21.1
Sub Total	328,545	100
Spent Fuel Management		
- Staffing and Security	38,529	25.8
- Property Taxes	29,539	19.8
- Construction Costs	60,655	40.6
- NRC and State Fees	11,717	7.8
- Insurance	3,504	2.4
- Other Costs	5,436	3.7
Sub Total	149,380	100
Site Restoration		
- Licensing Termination Survey	12,423	30
- Major Component Removal	12,543	30
- Close-out activities	3,740	9
- Demolition of site buildings	12,738	30.8
Sub Total	41,444	100
Total	519,369	-

* costs in thousands of dollars.

표 8. Maine Yankee 해체비용 산정 결과

3.3 WWER-400 해체비용

구소련연방에서 WWER(Water Cooled Water Moderated Power Reactor) Nuclear Power Plant 설계가 1954-1955년에 시작되어, 첫 440MW(e) WWER 상업 운전을 하기 위해 Novovoronezh NPP의 두 개를 조합한 경험으로 건축을 하였다. 1971년에서 구소련연방 내에 운영되어, 1974년에서 1982년까지 추가로 10기의 원자로가 구소련연방 외 국가에서 운전을 시작하였다[6].

Country	Reference NPP	Type of the units
Armenia	Armenian NPP (Unit 1-2)	WWER-440/270
Bulgaria	Kozloduy NPP (Units 1-2)	WWER-440/230
Czech Republic	Dukovany NPP (Units 1-2)	WWER-440/213
Finland	Loviisa NPP (Units 1-2)	WWER-440/213
Germany	Greifswald NPP (Units 1-2)	WWER-440/230
Hungary	Paks NPP (Units 1--4402)	WWER-440/213
Russian	Novovoronezh NPP (Units 3-4), Kola NPP (Units 3-4)	WWER-440/230 WWER-440/213
Slovakia	Bojunice NPP(Units 1-2) Bojunice NPP(Units 3-4)	WWER-440/230 WWER-440/213
Ukraine	Rovno NPP (Units 1-2)	WWER-440/213

표 9. WWER-440 해체비용 산정을 위한 참여 국가 및 원자로

WWER-440 원자력 발전소에 대한 지속적인 운전 또는 해체에 대한 복잡한 결정에 직면해 있는 운전국들의 해체비용에 대한 관심을 바탕으로 IAEA는 기술적 문서 준비 작업을 착수하였다. WWER-400 NPP의 해체비용을 동일한 방법으로 제시하기 위해서, 비용항목을 비용그룹으로 분류 및 포함시켜 비용을 분석하는 것으로 나타났다.

비용 산정을 하기 위한 항목을 다음과 같이 그룹을 만들어 설정을 하고 있다.

- Pre-decommissioning actions
- Facility shutdown activities
- Procurement of general equipment and material
- Dismantling activities
- Waste Processing, storage and disposal
- Site security, surveillance and maintenance
- Site restoration, cleanup and landscaping
- Project management, engineering and site support
- Research and development
- Fuel and nuclear material
- Other costs

WWER-440 해체 시 설정된 가정의 기술 조건은 다음과 같다.

- 자유조건상태에서, 정상운전 후에 중지
- 두 개의 unit을 포함하고, 최종 목적은 부지 복원상태로 환원하는 것
- 제염부분에서, 철거 및 폐기물 처리과정은 현재 가능한 방법만 고려
- 사용 후 연료 풀에서 중간 저장소로 선적하기 전에 최소 3년의 최종 사용연료의 냉각

WWER-440 이용국가들의 해체비용 접근 방법으로서 단위비용인자를 바탕으로 산정을 하였는데, 비용인자들은 비생산적 시간(작업휴식, 드레싱, 언드레싱 시간, 훈련 등)과 작업을 수행하는데 필요한 시간을 지연시키는 작업조건(호흡장비 착용, 비계위에서 작업)을 고려하고 있고 단위비용인자에 대한 가정은 다음과 같다.

- 발전소 운전 중에 발생한 처리, 포장, 수송, 저장, 방사선편해기물 처분에 대한 비용은 해체비용에 포함하지 않음
- 장비 재판매는 고려하지 않음
- 최종 운전정지 후 가능한 빨리 핵연료 저장조로 최종 노심을 이송하고 3년 후 중간 저장시설에 연료를 옮기는 비용은 해체비용에 포함.
- 원자력 시설 해체하는 동안 안전규정에 따라, 최종 운전정지는 시설운전의 마지막 단계임.

WWER-440 이용 국가들의 해체 프로젝트 중에서 주요 철거 작업 활동은 다음과 같다. 또한 비용그룹을 바탕으로 3가지 범주로 구분하여 비용을 분류하고 있다.

- Decontamination of areas and equipment in building to facilitate dismantling
- Dismantling operations on reactor pressure vessel and internal
- Removal of primary and auxiliary systems
- Removal of biological/thermal shield
- Removal and disposal of asbestos
- Building decontamination
- Decontamination for recycling and reuse

Cost Categories	Percent of Total(%)
Pre-decommissioning actions	1.9
Facility shutdown activities	18.9
Procurement of general equipment and material	1.5
Dismantling activities	17
Waste processing, storage and disposal costs	34.5
Site security, surveillance and maintenance	4.4
Site restoration, cleanup and landscaping	9.8
Project management, engineering and site support costs	5.4
Research and development	0.5
Fuel and nuclear material	4.2
ther costs	2

표 10. WWER-440에 대한 11개 해체 비용 그룹

Cost Groups	Percent of total(%)
Labor Costs	45.3
Capital Equipment and Material	16.6
Expenses	3
Total	100.0

표 11. WWER-440에 대한 해체비용 범주 분포

3.4 DR3 (Danish Reactor No. 3) 해체비용

DR3(Danish Reactor No.3)는 발전용 원자로를 위해 새로운 구성요소와 재료를 시험하기 위해 건설된 덴마크에서 가장 큰 원자로이다. 1960년부터 사용되었으며, 감속재는 중소, 본래는 실증로 를 대상으로 건설되었지만 다목적 연구로의 역할로 사용되고 있다. 운전 주기는 4주이다[7].

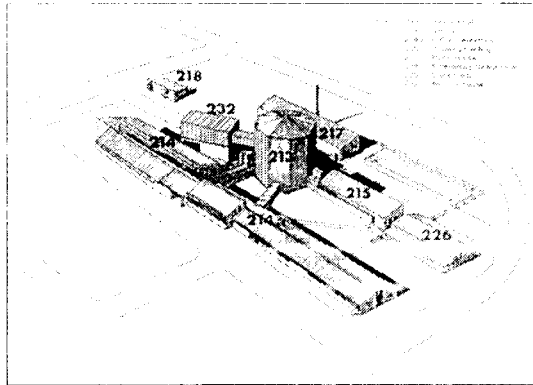


그림 4. DR3 개략도

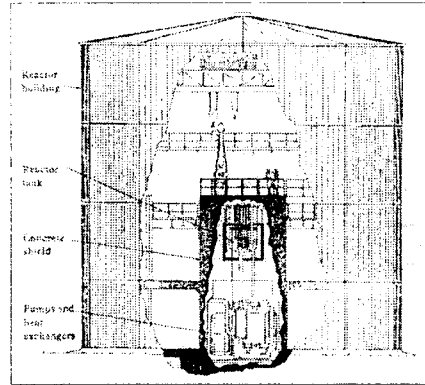


그림 5. DR3 내부 평면도

DR3 시설 내의 복잡도가 다양하기 때문에, 해체 노동력과 비용에 대한 평가는 다르게 접근하고 있다. 몇몇 시설에 대해서는 동위원소 실험실과 같은, 필요한 작업은 쉽게 나타낼 수 있지만, 반면에 다른 구성요소의 경우는 체계적인 접근이 요구되는 것으로 나타났다.

Cost Categories	Estimated costs(MDKK)	Percent of total(%)
Pre-decommissioning actions	-	-
Facility shutdown activities	7	1.9
Procurement of general equipment and material	9	2.4
Dismantling activities	249	67.5
Waste processing and storage	15	4.1
Site security, surveillance and maintenance	-	-
Site restoration, cleanup and landscaping	21	5.7
Project management, engineering and site support	-	-
Research and development	-	-
Fuel and nuclear material	68	18.4
Total	369	100

표 12. DR3 해체비용 산정 결과

4. 산정된 해체비용에 대한 분석 결과

연구용 원자로 및 원자력 시설에 대한 해체 비용 산정을 분석한 결과 원자력 시설 철거활동과 폐기물 처리 활동이 가장 많은 비용이 투입될 것으로 예상되고 있고 노동인력비용, 재료비 기타 비용 중에서 노동 인력 투입에 대한 비용이 가장 많이 차지한 것으로 나타났다. 특히, 일반 작업이 아닌, 방사선 관리 구역과 같은 작업 환경이 어려운 곳 작업영역이면 작업집약도가 높아져서 비용이 많이 소요되는 것으로 분석이 되었다.

해체비용에 영향을 미치는 주요 변수로는 Work difficulty, Regional labor cost 차이, Peripheral

cost, Disposal/final burial costs 이다. 나머지 재료, 장비 및 에너지 비용의 변화로 인한 영향은 해체 전체 프로젝트 비용에 영향의 정도가 미미한 것으로 분석되었다. 이중에서 work difficulty와 regional variations in labor rate 인자가 중요 영향인자로 나타났다.

- 작업 애로 인자(Work difficulty factors)

해체비용에 영향을 주는 작업 애로인자는 작업자 보호 장비(PPE, Personal Protective Equipment), 작업환경 고도/접근성, 노동 생산성이다. PPE 작업 애로 인자는 방사선 구역으로 진입하기 위해 필요한 체비에 대한 시간이 필요하게 된다. 작업환경 고도/접근성은 해체해야할 구성 요소에 대한 작업환경이 곤란한 곳에 해체 활동이 지연되는 시간을 의미한다. 노동 생산성은 각 해체 지역에 따라 상이하기 때문에 이에 대한 인자가 반드시 필요하다.

- 국가별 노동비용의 차이(regional variations in labor rate)

국가별로 해체비용 가운데 노동비용이 차이하는 비율이 일반적으로 -37%에서 +55% 범위 정도로 나타난 것으로 분석되었다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부에서 주관하는 원자력증장기 연구개발사업의 일환으로 수행하였습니다.

참 고 문 헌

- [1] "연구용원자로 폐로사업", 정기정 외, 한국원자력연구소, p3, 2000
- [2] "Technology, Safety and Costs of Decommissioning Reference Nuclear Research and Test Reactors", NUREG/CR-1756, p11-12, 1982
- [3] "The NEA Co-operative programme on decommissioning", OECD/NEA, p113-126, 1996
- [4] "An Analysis of Decommissioning Costs for the AFRRI TRIGA Reactor Facility", 1990
- [5] "Maine Yankee Decommissioning Costs", 2002
- [6] "Decommissioning costs of WWER-440 nuclear power plants", IAEA, IAEA-TECDOC-132, 2002
- [7] "Revised Cost Estimate for the Decommissioning of the Reactor DR3", Riso, Riso-R-129, 2001