Journal of RADIATION INDUSTRY
Vol. 20, No. 1, pp. 75-83, 2026
https://doi.org/10.23042/radin.2026.20.1.75

Original article

국외 원자력발전소 해체 비용 평가 지침 및 방법론 분석

송관섭[1,2] · 한창희[2] · 민혜빈[2] · 김광표[2,*]

[1]대한전기협회, [2]경희대학교 원자력공학과

Analysis of International Guidelines and Methodologies for Nuclear Power Plant Decommissioning Cost Estimation

Gwan Sub Song[1,2], Chang Hee Han[2], Hye Bin Min[2], and Kwang Pyo Kim[2,*]

[1]Korea Electric Association
[2]Department of Nuclear Engineering, Kyung Hee University

ABSTRACT Following the Nuclear Safety and Security Commission (NSSC)'s approval of the Kori Unit 1 decommissioning plan in June 2025, full-scale dismantling commenced eight years after its June 2017 permanent shutdown. However, the domestic sector lacks commercial decommissioning experience, resulting in a virtual absence of specific guidelines for cost estimation, essential for effective planning. Therefore, establishing a cost estimation methodology applicable to the domestic industry through the investigation of international precedents is urgently required. The primary objective of this study is to analyze U.S. and international decommissioning cost estimation guidelines to provide foundational data for domestic application. To this end, the U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC)'s 10 CFR 50.75, mandating decommissioning funds, along with detailed standards in RG 1.202 and NUREG-1713, were analyzed. Additionally, the methodology of the Atomic Industrial Forum (AIF/NESP-036) was examined. Furthermore, IAEA safety standards GSR Part 6 and SSG-47 were investigated alongside the OECD/NEA's International Structure for Decommissioning Costing (ISDC). The analysis focused on the legal basis, cost estimation systems, funding mechanisms, and standardization levels. Results indicate that U.S. and international guidelines commonly prescribe standardized cost structures and financial assurance. U.S. regulations provide a standard execution framework with legally binding force and practical procedures centered on field operations. Conversely, IAEA and OECD/NEA guidelines emphasize institutional aspects such as funding accountability and structural standardization. The cost items in AIF/NESP-036 and the ISDC classification system were identified as key elements for the quantification and international harmonization of domestic standards. By comparing these guidelines, this study proposes methodologies for domestic decommissioning cost assessments. It is concluded that international guidelines could be effectively adopted to develop standards suitable for the specific domestic conditions of South Korea. These findings are expected to serve as a baseline for establishing a domestic cost estimation system and supporting future standardization research.

Key words: Nuclear Power Plant Decommissioning, Cost Estimation, Guide, Methodology, Standardization

1. 서 론

원자력안전법령에 따른 해체의 정의는 허가 받은 시설의 운영을 영구적으로 정지한 후 해당 시설과 부지를 철거하거나 방사성오염을 제거함으로써 원자력안전법의 적용대상에서 배제하기 위한 모든 활동이다[1]. 경제협력개발기구(Organization for Economic Cooperation and Development, OECD) 산하 원자력기구(Nuclear Energy Agency, NEA)에서 정의하는 해체 비용 평가란 해체 작업에 필요한 총 경제적 비용을 체계적으로 산정하는 과정을 의미한다[2]. 산업통상부 소관 법령인 방사성폐기물 관리 법령에

ISSN 1976-2402 **http://www.ksri.kr/**

Copyright© 2026 by Korean Society of Radiation Industry

***Corresponding author:** Kwang Pyo Kim
Tel: +82-31-201-2560, Fax: +82-31-273-3592, E-mail: kpkim@khu.ac.kr
Received 23 February 2026 **Revised** 25 March 2026 **Accepted** 30 March 2026

서는 원전 해체에 쓰일 충당금을 별도로 적립하도록 규정하고 있다[3-6]. 원자력안전위원회 소관 법령인 원자력안전법령에서는 원전 해체 비용 평가 및 타당성을 입증하고 재원 확보 방안을 수립하여 이행하도록 규정하고 있다[1,7-10]. 그에 따라 원전의 안전하고 효율적인 해체와 비용 확보를 위해 해체 비용 평가를 수행할 필요가 있다.

미국 원자력규제위원회(Nuclear Regulatory Commission, NRC)에서는 해체 비용 평가 규제 기준과 지침 및 방법론을 제시한 바 있다[11-13]. 미국 원전 해체 비용 평가 규제 체계는 대부분 10 CFR 50.75에서 규정하고 있으며, 세부사항은 RG 1.202와 NUREG-1713에서 기술하고 있다. 또한, 미국 원자력 산업 포럼(Atomic Industrial Forum, AIF)에서는 AIF/NESP-036을 통해 해체 비용 평가 항목 및 순서 등 세부적인 해체 비용 평가 방법론을 제시한 바 있다[14]. 국제원자력기구(International Atomic Energy Agency, IAEA)의 안전표준 중 일반안전원칙(General Safety Requirements, GSR) Part 6와 특별안전지침(Specific Safety Guide, SSG) No.47에서 해체 비용 평가와 재원 조달의 기본 원칙을 규정하고 있다[15,16]. OECD/NEA에서는 국제해체비용평가체계(International Structure for Decommissioning Costing, ISDC)를 통해 해체 비용 평가를 위한 표준화된 비용 구조를 제시하고 있다[17]. 국내에서는 신상화 등이 미국의 원전해체 비용평가 기초자료 및 동향 분석에 대한 연구를 수행한 바 있다[18]. 또한, 정관성 등은 단위비용인자 구성 요소를 도출함으로써 원자력연구시설 해체 비용 산정 구조를 제시하는 연구를 수행한 바 있다[19].

현재 국내에서는 고리 1호기를 시작으로 원전 해체 사업이 본격화될 전망이다. 또한, 설계수명이 만료되는 원전이 점차 증가할 예정이다. 이에 따라 해체 착수를 위한 과도기 해체 준비 활동에서 해체 비용을 정확하게 평가하여 재원을 확보하는 것이 필수적이다. 국내에서는 산업통상부 소관 방사성폐기물 관리 법령 및 기후에너지환경부고시를 통해 해체 비용 확보를 위한 충당금 적립을 규정하고 있고, 비용산정위원회를 통해 매2년 주기로 해체 충당금을 산정하고 있다[3-6,20]. 비용산정위원회는 미국 AIF/NESP-036 방법론을 기반으로 DeCAT (Decommissioning Cost Analysis Tool) 전산코드를 활용하여 해체 비용을 평가하고 있다. 반면, 국내 규제기관인 한국원자력안전기술원(KINS)의 최종해체계획서 심사지침서는 OECD/NEA의 ISDC 분류 체계를 주요하게 참조하고 있다[21]. 이러한 실무와 규제 지침의 차이를 해소하기 위해, 미국과 국제기구의 지침을 포괄하면서도 국내 실정에 부합하는 표준화된 비용 평가 체계 수립이 필요하다. 그러나 현재 국내에서는 상업용 원전 해체 경험 부족으로 해체 비용 평가에 대한 세부적인 지침 및 방법론이 부재한 실정이다. 따라서 미국과 국제기구에서 제시하는 해체 비용 평가 지침 및 방법론을 비교 분석하여 국내 적용 및 활용방안에 대한 연구가 필요한 상황이다.

본 연구의 목적은 국외 원전 해체 비용 평가 지침 및 방법론 분석을 통한 국내 해체 비용 평가 활용방안 분석과 향후 해체 비용 평가 표준 개발을 위한 기초자료 확보이다. 이를 위해 미국 NRC와 AIF 그리고 국제기구 IAEA와 OECD/NEA에서 제시하고 있는 해체 비용 평가 지침 및 방법론을 분석하였다. 이후 해체 비용 평가 지침 및 방법론 간 비교 분석을 수행하였다. 그리고 향후 국내 해체 비용 평가 표준 개발 시 활용될 수 있는 국외 해체 비용 평가 방법론 분석 결과 기반으로 국내 적용성에 대해 고찰하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서는 미국과 국제기구에서 제시하는 해체 비용 평가 규제 지침을 조사하여 비용 평가 방법론을 분석하였다[11-17]. 국내 현황으로 산업통상부에서는 원전 해체 비용을 평가하고 해체 충당금으로 적립할 것을 규정하고 있다[5]. 원자력안전법령에서는 원전 해체 승인 신청에 필요한 해체 활동과 소요된 기간에 대한 비용을 산정하여 제시하도록 규정하고 있다[8-9]. 그러나 공통적으로 해체 비용 평가에 대한 구체적 지침과 방법론은 제시하지 않은 것으로 확인하였다. 따라서 국내 해체 비용 평가 지침 및 방법론 개발 시, 국외에서 제시하는 해체 비용 평가 지침 및 방법론을 검토 후 분석할 필요가 있다.

2.1. 미국 원전 해체 비용 평가 지침 및 방법론 분석

국외 원전 해체 경험 보유 국가 중 다수의 해체 경험을 보유하고 있는 미국의 규제 기준 및 지침을 조사하였다. 미국 원전 해체 비용 평가 규제 체계는 대부분 10 CFR 50.75에서 규정하고 있고, 세부사항은 RG 1.202와 NUREG-1713에서 기술하고 있다[11-13]. 미국의 원전 해체 비용 확보 규정을 검토할 목적으로 10 CFR 50.75를 조사하였다. 그리고 NRC에서 제시하는 해체 전략을 검토할 목적으로 RG 1.202를 조사하였다. 또한, NRC가 RG 1.202에 따른 해체 비용 평가 보고서 검토를 목적으로 발간한 표준검토지침서(Standard Review Plan, SRP)인 NUREG-1713을 조사하였다.

미국 원자력 산업 포럼(AIF)에서 1986년에 NRC와 TLG Services Inc. 등이 참여하여 개발한 상업용 원전 해체 비용 평가를 위한 지침서인 AIF/NESP-036을 조사하였다[14]. AIF/NESP-036은 미국을 포함한 다수의 국가에서 원자력 시설 해체 비용 평가의 참고 자료로 활용되고 있다. AIF/NESP-036에서 정의하는 원전 해체 비용, 해체 비용 평가 항목 및 범위, 해체 비용 평가 순서 등 방법론을 조사하였다.

2.2. 국제기구 원전 해체 비용 평가 지침 및 방법론 분석

IAEA와 OECD/NEA 등 국제기구에서 제시하는 원전 해체 비용 평가 지침 및 방법론을 조사하였다[15-17]. IAEA에서는 원자력 이용에 관한 안전표준을 다수 발간하였지만, 해체 비용 평가

를 위한 단독 표준은 사실상 부재한 것으로 확인하였다. IAEA에서는 해체 안전표준에 해체 비용 관련 항목을 포함하여 발행한다. 따라서 IAEA 원전 해체 지침인 해체 일반안전원칙 GSR Part 6와 특별안전지침 SSG-47을 조사하였다[15,16]. GSR Part 6와 SSG-47에서 해체 비용 관련 요건을 중점적으로 조사하였다.

OECD/NEA에서 제시하는 해체 비용 평가 지침 및 방법론인 ISDC를 조사하였다[17]. OECD/NEA는 각국의 해체 비용 전문가로 구성된 평가 그룹을 구성하여 현황을 분석한 뒤 공통으로 적용할 수 있는 방법론을 제시하고자 하였다. OECD/NEA는 IAEA와 유럽위원회(European Commission, EC)의 공동 발의로 1999년에 발행한 NEA의 비용 평가 지침을 개정 및 보완하여 2012년에 ISDC를 발간하였다. ISDC에서 제시하는 비용 구조와 원자력 시설의 해체 비용 평가에 대한 표준화된 체계를 조사하였다.

3. 결 과

Table 1에 본 연구에서 분석한 국외 원자력발전소 해체 비용 평가 관련 지침 및 방법론의 주요 내용을 요약하여 제시하였다. 각 지침 및 방법론은 발행 기관의 목적과 규제 환경에 따라 상이한 특징을 지니고 있는 것으로 분석하였다. 또한, 비용 평가의 법적 기준 설정, 실무적 단위 비용 산정, 표준화된 비용 분류 체계 등 해체 비용 평가의 다양한 측면을 포괄하고 있는 것으로 분석하였다. 각 지침 및 방법론에 대한 상세한 분석 결과를 다음과 같이 기술하였다.

3.1. 미국 원전 해체 비용 평가 지침 및 방법론 분석

3.1.1. 10 CFR 50.75

10 CFR 50.75는 원전 운영자가 원전 해체에 필요한 해체 비용을 확보하도록 규정한다. 이에 따르면 해체계획 수립 단계에서는 해체를 위한 재정보증을 확보해야 하며, 이를 위한 최소 해체 추정 비용은 10 CFR 50.75에서 제시하는 비용 이상이어야 한다고 규정되어 있다[11]. 해체 추정 비용은 기준 해체 비용 대비 임금, 에너지, 폐기물 비용 등의 요인을 보정하여 산정된다. 해체 비용 산정 금액은 원전 운영자가 현금으로 적립하고, NRC가 해체 기금(Decommissioning Trust Fund, DTF)으로 관리한다. 즉, 최초 기준 년도에서 해체에 필요한 금액을 산정하고, 이후 물가 변동 등을 고려한 보정 금액으로 산출하는 방식이다. 이는 국내 원전의 해체 비용 산정 방식과 거의 대등한 것으로 확인하였다[20].

또한 10 CFR 50.75에서는 최소 해체추정비용을 산정하기 위한 정량적 수식을 제공한다. NRC는 1986년을 기준으로 가압경수로형(PWR) 원전의 경우 열출력이 3,400 MWt 이상이면 1억 500만 달러, 1,200 MWt에서 3,400 MWt 사이면 (75+0.0088P) 백만 달러로 산정하도록 규정하였다. 여기서 P는 원자로 열출력 준위를 의미한다[11].

1986년 이후의 특정 연도에 대한 최소 재정보증 금액은 물가 변동을 고려한 보정계수를 곱하여 산출한다. 보정계수는 (0.65L+0.13E+0.22B)의 수식으로 계산된다. 각 변수는 노동, 재료 및 서비스 비용(L), 에너지와 폐기물 운반비용(E), 방사성폐기물 처분비용(B)의 보정계수를 의미한다. 결과적으로 현재 가치

Table 1. Summary of International Guidelines and Methodologies for Decommissioning Cost Estimation [11-17]

Category	Document	Publisher	Characteristics & Purpose
U.S. Regulatory Guidelines	10 CFR 50.75	NRC	Establishes the legal requirement and quantitative formulas for calculating the minimum decommissioning financial assurance based on thermal power and escalation factors
	RG 1.202	NRC	Provides the standard format, content, and expected cost tabulation frameworks for submitting Site-Specific Decommissioning Cost Estimates (SSDCE) according to decommissioning strategies
	NUREG-1713	NRC	Serves as a Standard Review Plan (SRP) outlining basic review requirements and criteria for regulators evaluating the submitted SSDCEs
U.S. Industry Methodology	AIF/NESP-036	AIF	Proposes a bottom-up methodology for estimating activity-dependent costs using quantitative Unit Cost Factors (UCF) and Adjustment Factors for Work Durations
International Safety Standards	GSR Part 6	IAEA	Defines the basic safety principles, legal framework, and governmental/operator responsibilities for decommissioning funding and cost estimation
	SSG-47	IAEA	Provides specific criteria for establishing funding mechanisms, updating cost estimates continuously throughout the facility's lifecycle, and ensuring independence and transparency
International Costing Structure	ISDC	OECD/NEA	Presents a standardized hierarchical cost classification system (11 Level-1 principal activities) to facilitate transparent assessment and international benchmarking

의 해체 비용은 1986년 기준 금액에 각 항목의 물가 상승 구성비를 반영하는 정량적 관계식을 통해 지속적으로 갱신 및 관리된다[11].

3.1.2. NRC RG 1.202

NRC는 RG 1.202를 통해 해체 비용 평가에 적용 및 활용할 수 있는 해체 전략을 (1) 즉시해체 또는 즉시철거, (2) 지연해체 또는 지연철거, (3) 매몰해체 또는 영구밀봉 세 가지로 제시하였다. 세 가지 해체 전략은 미국 원전뿐만 아니라 다수의 국가에서 적용되고 있다. RG 1.202에서는 원전 해체 비용 평가 규정에 따라 인허가 문서별 해체 비용 평가에 활용할 수 있는 해체비용평가서(Decommissioning Cost Estimate, DCE) 형식을 제시하였다[12].

Table 2에 원전 운영 종료 전 예비 비용 평가서 제출 양식을 나타내었다. RG 1.202에서는 영구정지후해체활동보고서(Post-Shutdown Decommissioning Activity Report, PSDAR)의 요구 조건에 따라 작성하는 양식을 구체적으로 제시하였다. 또한, 10 CFR 50.75에 따른 원전 해체 비용의 재정 보증을 위한 기본 관계식의 활용과 부지별 해체비용평가서(Site-Specific Decommissioning Cost Estimate, SSDCE)의 작성 내용을 제시하였다. Table 3부터 Table 5에 부지별 해체비용평가서 작성에 필요한 고려 사항, 양식, 그리고 즉시해체 시의 세부 활동 내역을 나타내었다. 구체적으로, Table 3에는 평가서 내 반영하여야 할 사항

Table 2. Suggested Format for Tabulating Expected Costs [12]

Decommissioning Activity	Estimated Decommissioning Cost (Millions of Estimate-Year Dollars)				
	Period 1 (X.X Years)	Period 2 (X.X Years)	Period 3 (X.X Years)	Period 4 (X.X Years)	Duration (X.X Years)
	Planning & Preparation	Plant Deactivation	Safe Storage Operations	Dismantlement	Total Cost
Radioactive Component Removal					
Decontamination and Dismantlement					
Management and Support					
LLW Costs including packaging, shipping and burial/vendor costs					
Total Cost					

Table 3. General Information for Site-Specific Decommissioning Cost Estimate [12]

No.	General Information
1	Discuss the chosen decommissioning option (DECON, SAFSTOR, or some combination thereof).
2	Discuss the methodology used to derive the cost estimates.
3	Summarize total decommissioning costs by period. Provide a separate list of the costs of items not considered part of decommissioning (such as site restoration and spent nuclear fuel storage/management).
4	Compare the estimated cost with the minimum financial assurance (MFA) funding requirement.
5	Discuss the plans for adjusting the level of funds in the trust should be included to demonstrate that funds will be available for use when needed if the decommissioning trust is not fully funded.
6	Summarize the costs of services, supplies, and special equipment. This category should include cost estimates for protective clothing and equipment services supplied by an outside vendor. Also included under this category would be costs of purchasing or leasing specialized decommissioning equipment.
7	Summarize undistributed costs, such as property taxes, consultancy costs, nuclear liability insurance costs, energy costs, annual maintenance costs for SAFSTOR phases, site termination survey costs, and regulatory costs (inspections, miscellaneous fees, etc.)

Table 4. Suggested Format for Tabulating Decommissioning Costs by Period [12]

Decommissioning Option Chosen DECON or SAFSTOR	Decommissioning Period Duration (Years) / Decommissioning Cost (Millions of Estimate-Year Dollars)				
	Period 1 Planning & Preparation	Period 2 Plant Deactivation	Period 3 Safe Storage Operations	Period 4 Dismantlement	Total
Period Years					
Period Cost					

을, Table 4에는 일반 양식을, Table 5에는 즉시해체 선택 시 산정해야 할 활동을 각각 제시하였다. RG 1.202에서는 인허가 종료에 따른 해체비용평가서(DCE)의 경우 더욱 엄격한 양식으로 제출하도록 규정되어 있다[12]. 구체적으로 RG 1.202에서는 DCE 작성 시 준수해야 할 종이 크기, 잉크, 여백, 페이지 번호 등의 세부적인 문서 요건을 제시하고 있다.

3.1.3. NRC NUREG-1713

NRC는 RG 1.202에 따른 해체 비용 평가 보고서를 검토하기 위한 표준검토지침서(SRP)로 NUREG-1713을 발간하였다. SRP에서는 2000년 미국 달러 기준으로 10 CFR 50.75 해체 비용 재정 보증 및 부지 특성별 비용 평가의 방법과 검토 주안점을 제시하였다[13].

Table 6에 부지별 해체비용평가서(SSDCE) 검토 시 기본 요건을 나타내었다. NUREG-1713에서는 SSDCE 검토 시 핵심 사항을 제시하였다. 검토자는 해체 전략 및 방법, 비용 평가 시 사용한 방법론 등 상세 정보 제공을 확인하도록 기술하였다. NRC는 단위비용인자(Unit Cost Factor, UCF)를 일반적으로 활용하며, 예시로 AIF/NESP-036의 활용 방안을 제시하였다. 또한, 이외 해체 활동 기반의 다른 방법론 적용 역시 가능함을 명시하고 있다[13].

3.1.4. AIF/NESP-036

Table 7에 AIF/NESP-036에서 제시하는 해체 비용 평가 주요 항목을 나타내었다. AIF/NESP-036에서는 해체 기본 가정 사항을 도출하고, 작업 단위의 정의와 함께 단위 작업별 비용 평가 지침을 제시하였다. 그리고 공통 주요 기기 및 부품의 해체에 필요한 작업 공정과 작업별 소요 시간 등을 제시하였다. 또한, 작업 소요 인력의 인건비에 따라 단위 비용을 산정할 수 있도록 제시하였다[14].

Fig. 1에 AIF/NESP-036에서 제시하는 원자력 시설 해체 비용 평가 항목을 순서에 따라 나타내었다. AIF/NESP-036에서는 원전 해체 비용을 활동에 따른 비용, 기간에 따른 비용, 부대비용으로 구분하였다[14]. 활동에 따른 비용은 오염제거, 시설제거, 포장, 선적, 폐기와 같은 개별 활동과 직접적으로 관련된 비용을 의미한다. 그리고 실습 활동과 관련된 노동, 자재, 에너지, 장비, 운반 및 폐기가 포함된다. 기간에 따른 비용은 프로젝트 관리, 행정, 일상적인 유지관리, 방사선, 환경, 산업 안전 및 보안과 관련된 비용을 의미하며 하나의 활동에 직접적으로 할당될 수는 없지만 본질적으로 기간에 따라 달라진다. 부대비용은 일반적으로 특정 해체 활동에 직접적으로 귀속되지 않거나 기간에 종속되지 않는 일회성 비용으로 중장비 구매, 보건 및 안전 용품, 에너지 비용, 세금, 허가 및 면허 등이 포함된다. 예비비와 같은 우발적 상황에 대한 비용도 부대비용에 포함된다.

Table 8에 해체 비용의 정량적 평가를 위해 AIF/NESP-036에서 제시하는 주요 인자의 종류와 적용 가능한 수치 범위를 나타내었다. AIF/NESP-036에서는 활동에 따른 비용을 정량적으로

Table 5. Cost Estimation Decommissioning Activities for the DECON Option [12]

No.	Activities
1	major radioactive component removal (reactor vessel and internals, steam generators, pressurizers, large-bore reactor coolant system piping, and other large components)
2	radiological decontamination and dismantlement (D&D, which involves removing remaining radioactive plant systems, including radiological decontamination)
3	management and support [labor costs of support staff and decommissioning operations contractors (DOCs), energy costs, regulatory costs, small tools, insurance, etc.]
4	low-level waste (LLW) costs (including packaging, shipping, and burial/waste vendor costs)
5	groundwater and soil remediation, if any
6	final radiological survey costs
7	contingency (allowance for unexpected costs)

Table 6. Basic Review Requirements for the Site-Specific Decommissioning Cost Estimate [13]

No.	Review Requirements
1	A description of the decommissioning cost estimating methodology
2	A description of the overall decommissioning project
3	A summary decommissioning cost estimate by major activity and phase
4	A schedule of the major decommissioning activities
5	A summary of the radiological D&D management with support staff levels
6	An estimate of the radioactive waste volume

Table 7. Major Decommissioning Cost Assessment Items and Scope in AIF/NESP-036 [14]

No.	Items and Scope
1	Decommissioning Alternatives, Process and Work Activities
2	Definition of Work Units
3	Unit Factors
4	Decommissioning Schedule Development
5	Period-Dependent Costs
6	Collateral Costs
7	Salvage and Scrap
8	Low-Level Radioactive Waste Criteria
9	Radioactive Waste Disposal
10	Site-Specific Characteristics, Plant Modifications and Other Cost Adjustments
11	Contingency
12	Cost Estimate Structure

산정하기 위해 상향식(Bottom-up) 단위비용인자(UCF) 접근법을 채택하고 있다[14]. 이는 배관 및 기기 철거, 콘크리트 제거, 폐기물 포장 및 운반, 매장 등 반복적인 단위 작업에 대하여 소요시간, 인력, 소모품 등의 데이터를 기반으로 기본 단가를 도출하는 방식이다. 또한, 이론적인 작업 조건과 실제 방사선 작업 환경의 차이를 비용에 반영하기 위해 기본 작업 시간에 작업 시간 조정 인자(Adjustment Factors for Work Durations)를 필수적으로 적용한다[14]. 방사능 위험도가 높은 구역일수록 규제 요건을 준수하기 위한 방호복 및 호흡기 보호구 착용이 요구된다. 이로 인한 생산성 저하와 작업 시간 지연은 전체 해체 비용을 증가시키는 핵심적인 변수로 작용하여 주요하게 고려된다.

3.2. 국제기구 원전 해체 비용 평가 지침 및 방법론 분석

3.2.1. IAEA GSR Part 6

IAEA는 GSR Part 6를 통해 해체 비용 평가와 재원 조달의 기본 원칙을 규정하였다. 요건 4는 정부의 해체 책임을 명시하고, 해체 재원 조달을 위한 법적 체계를 마련해야 함을 규정한다. 요건 5는 규제기관이 해체 사업자의 재원 조달 요건과 자원 확보 체계를 점검해야 함을 규정한다. 이와 함께, 규제기관은 정부가 위임한 책임을 수행하도록 명시하고 있다. 요건 6은 해체 사업자가 해체 활동에 필요한 비용을 스스로 평가해야 함을 규정한다. 또한, 방사성폐기물 관리 등을 포함한 안전한 해체를 위해 재원과 자원을 확보해야 한다고 명시하고 있다. 요건 9는 해체 자금 조달의 법적 책임을 규정한다. 아울러 해체로 발생하는 방사성폐기물을 안전하게 관리하기 위한 체계 확립을 권고하고 있다[15].

3.2.2. IAEA SSG-47

IAEA는 SSG-47을 통해 해체 비용 평가와 재원 조달의 구체적 기준을 제시하였으며, 안전하고 효율적인 해체 수행을 위한 자금 확보의 중요성을 강조하였다. 해체 재원 조달 방안은 국가 법령에 근거해 운영되며, 필요 시 즉시 사용할 수 있는 자금을 보유해야 한다고 규정하고 있다. 이러한 재원 조달 체계는 시설 운영허가 이전에 확립되어 해체 단계별로 필요한 비용이 확보되어야 함을 명시하고 있다. 해체비용은 사업자 또는 위임계약자가 비용평가서를 작성 및 갱신하여 관리하고, 운영비와 명확히 구분하도록 요구하고 있다. 또한, 비용 평가는 시설의 전주기가 진행됨에 따라 단계적으로 구체화하여 수행되어야 하며, 주기적으로 갱신된 결과를 해체계획서에 반영할 것을 명시하고 있다. 이에 더해 비용 평가 과정에서는 독립성, 투명성, 합리성, 공공성의 원칙을 준수해야 한다고 규정하고 있다. 아울러 주기적 검토와 피드백을 통한 지속적 개선과 함께, 외부 여건 변화에도 안정적인 재정보증 체계 유지를 권고하고 있다[16].

3.2.3. OECD/NEA ISDC

OECD/NEA는 ISDC를 통해 새로운 비용 구조와 표준화된 체계를 제공하였다. ISDC에서 비용 적정성 평가를 통하여 규제기관 및 이해관계자에게 투명한 신뢰 구축의 기반을 확립할 수 있다고 명시하였다. OECD/NEA는 비용 평가 기본 구조로 노임, 투자비, 소모성 경비, 예비비의 네 가지 항목을 제시하였다. ISDC 항목에서는 해체 비용을 총 11개 주요 활동 항목으로 나누었으며, 각각의 항목마다 하위 항목을 두었다[17].

Table 9에 ISDC의 레벨 1에 해당하는 11개의 주요 활동 항목 제시하였다. 이 11개 주요 활동은 해체 준비부터 부지 복원까지 원자력시설 해체의 전 과정을 포괄한다. 해체준비 단계에서는 해체계획 수립, 시설특성평가, 인허가 절차, 하도급 계약 등 문서 중심의 사전작업이 수행된다. 이후 운전정지 단계에서 계통 배수, 제염, 사용후핵연료 및 운영폐기물 제거를 통해 해체 가능한 상태를

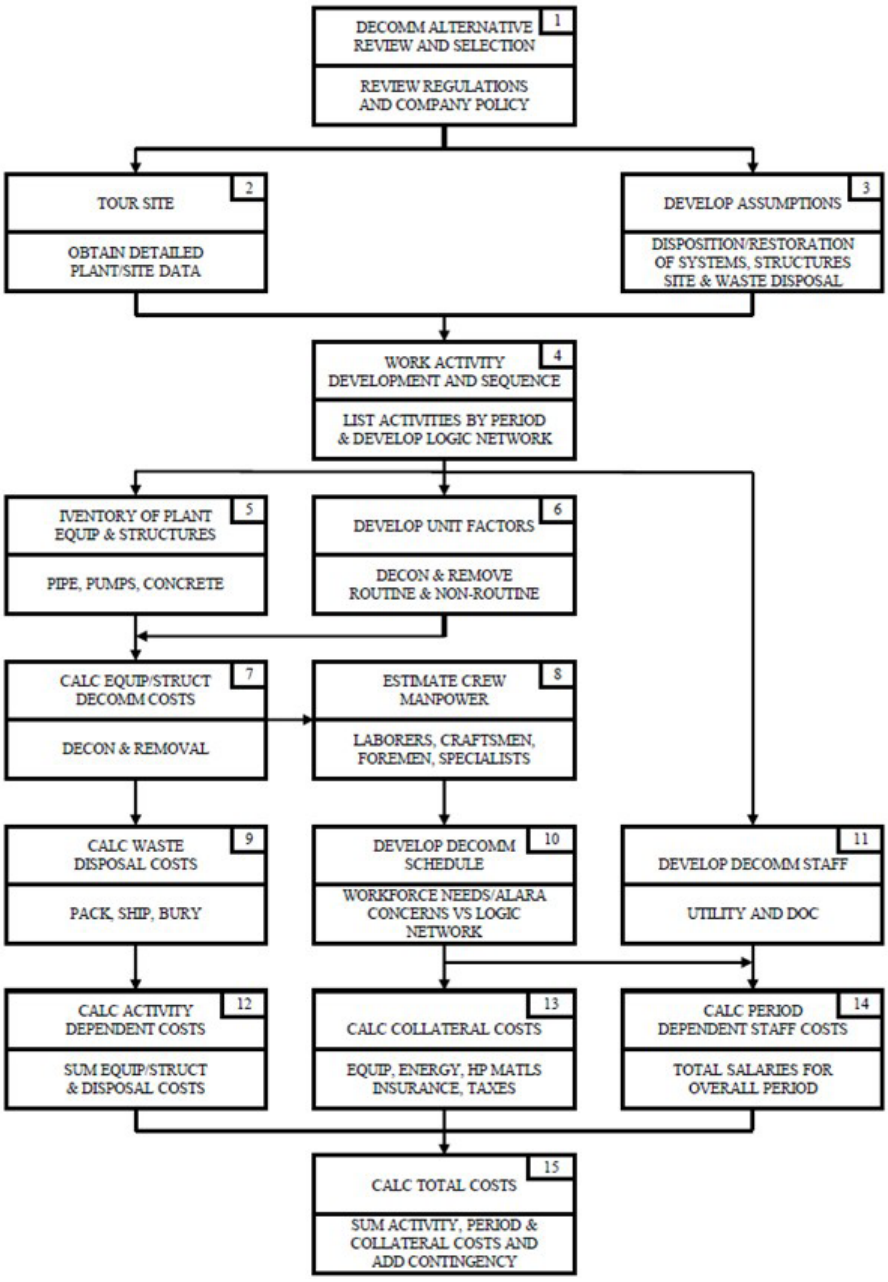

Fig. 1. Cost Estimate Development Flow Diagram in AIF/NESP-036 [14].

Table 8. Quantitative Cost Factors and Application Ranges in AIF/NESP-036 [14]

Category	Factor	Applications Range	Description
Unit Cost Factor (UCF)	Activity Cost	Task-specific	removal of piping, equipment and concrete, packaging and shipping, and burial
Adjustment Factors for Work Durations	Radiation / ALARA Factor	+10%~40%	time necessary to prepare a radiation work permit, perform pre-job briefings and, when necessary, mockup training
	Protective Clothing Factor	+15%~30%	putting on protective clothing, removal of protective clothing and frisking for contamination
	Respiratory Protection Factor	+25%~50%	reduced vision, restricted breathing and fatigue

Table 9. OECD/NEA ISDC Level 1 Principal Activities [17]

No.	Activities
1	Pre-decommissioning actions
2	Facility shutdown activities
3	Additional activities for safe enclosure or entombment
4	Dismantling activities within the controlled area
5	Waste processing, storage and disposal
6	Site infrastructure and operation
7	Conventional dismantling, demolition and site restoration
8	Project management, engineering and support
9	Research and development
10	Fuel and nuclear material
11	Miscellaneous expenditures

조성한다. 이어 관리구역 및 비방사선구역 철거, 폐기물 처리·저장·처분과 같은 물리적 해체 작업이 진행되며, 부지 운영과 환경감시가 병행된다. 마지막으로 프로젝트 관리, 연구개발, 핵물질 관리 등 지원활동을 포함하여 부지가 제한적 또는 무제한적으로 개방 가능한 상태에 도달하면 해체가 완료되는 것으로 기술되어 있다[17].

4. 고 찰

본 연구에서는 미국과 국제기구의 원전 해체 비용 평가 지침 및 방법론을 분석하여 각 체계의 특성과 국내 적용 가능성을 검토하였다. 미국의 해체 비용 평가 지침은 법적 구속력과 실무 적용 중심의 세부 규정으로 구성되어 있는 것으로 나타났다. 국제기구의 지침은 제도적 틀과 기본 원칙을 제시하는 정책적 성격이 강한 것으로 나타났다.

미국 10 CFR 50.75는 원전 운영자가 해체에 필요한 비용을 사전에 확보하고, 이를 재정적으로 증명하도록 함으로써 해체 재원 확보의 법적 근거를 제공하고 있다[11]. 10 CFR 50.75에서 규정하는 해체 비용 확보 방법은 국내 산업통상부 및 기후에너지환경부가 방사성폐기물 관리법과 관련 고시에 따라 수행하는 원전 해체 충당금 비용 평가 및 재원 조달 방식과 유사한 방법인 것으로 분석하였다[3-6,20]. NRC는 RG 1.202를 통해 즉시해체, 지연해체, 매몰해체 등 세부 전략에 따라 구조화된 해체비용평가서(DCE) 작성 체계를 제시함으로써 평가 절차를 표준화하였다[12]. 특히 NUREG-1713을 통해 평가서 검토자의 판단 기준을 명문화하여 규제기관의 심사 일관성과 신뢰성을 높였다[13]. RG 1.202 및 NUREG-1713에서 제시하는 해체 전략과 양식은 국내 해체 비용 평가 시 국제 규범과의 정합성 확보를 위해 참조될 수 있을 것으로 판단된다. AIF/NESP-036은 작업 단위별 단가 산정과 비용 분류 기준을 제시함으로써 개별 작업의 생산성과 효율성 평가에 정량적 근거를 제공한다[14]. 이는 활동 기반 비용의 개념이 반영되어 있어, 국내 원전 해체 비용 산정 시에도 실제 해체 비용 예측의 정밀도 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

IAEA의 GSR Part 6와 SSG-47은 해체 재원 조달의 법적 책임성과 행정 체계를 중점적으로 다루고 있다[15,16]. OECD/NEA의 ISDC는 비용 구조의 표준화에 초점을 두고 있다[17]. 특히 ISDC의 11개 주요 활동 구분은 국가 간 해체 비용 비교와 데이터 공유를 위한 공통 분모 역할을 수행하고 있다. 이러한 접근을 통해 단일 국가의 제도적 한계를 보완하고 국제 협력 기반의 비용 정보 관리 체계 구축에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

미국 지침은 실제 사업 수행 경험을 반영하여 구체적인 기준을 제시하고 있다. 국제기구 지침은 각국의 제도적 다양성과 자율성을 고려하여 포괄적 기준을 제시하고 있다. 이에 따라 국내 해체 비용 평가 지침 또는 표준 개발 시 두 체계의 조합적 접근이 필요할 것으로 보인다. 특히 AIF/NESP-036과 ISDC의 비용 구조를 통합적으로 적용함으로써, 정량적인 분석과 국제적 호환성을 동시에 확보할 필요가 있다.

구체적인 통합 방안으로서, 국가 차원의 거시적인 해체 비용 분류 및 보고 체계는 현재 KINS의 최종해체계획서 심사지침서가 참조하고 있는 ISDC의 구조를 기반으로 포괄적 기준의 적용성을 확보해야 한다. 반면, 해당 구조의 최하위 작업 단위에 대한 실질적인 비용 산출은 현재 산업통상부의 해체 충당금 산정에 기적용 중인 AIF/NESP-036의 상향식(Bottom-up) 비용 산정 체계를 적용하여 정량적 정확성을 달성해야 한다. 즉, 규제기관의 심사 기준과 호환되는 ISDC 해체 비용 평가의 전체 뼈대로 삼고, 국내 노동 단가 및 방사선 방호 요건이 반영된 세부 정량 산출에는 AIF/NESP-036을 결합하는 이원화된 방식이 국내 지침 및 방법론 개발에 실질적으로 고려되어야 한다.

다만, 본 연구는 국외 해체 비용 평가 문헌 및 제도 비교 분석에 한정되어 있어, 국내 규제 기준과 실제 사업 기반 비교 검토가 이루어지지 않았다는 한계를 가진다. 향후 연구에서는 산업통상부, 기후에너지환경부, 원자력안전위원회의 관련 규제 기준과 규제 기관의 심사지침을 검토하고, 고리 1호기 해체사업 사례와의 비교 검증을 통해 그 적합성을 평가할 필요가 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 미국과 국제기구에서 제시하는 원전 해체 비용 평가 지침과 방법론을 분석하였다. 이를 위해 미국과 국제기구의 해체 비용 평가 방법론, 절차, 기본 구조 등을 조사한 뒤 비교 분석하였다. 분석 결과, 비용 평가의 접근 방식 및 체계는 서로 다른 측면을 중점적으로 다루고 있으나, 신뢰성 확보라는 공통된 목표 하에 각각의 법적 배경과 목적에 부합하는 구체적인 체계를 갖추고 있는 것으로 확인되었다.

미국의 지침은 법적 구속력을 갖춘 재정 보증 체계와 실무 중

심의 절차 표준화를 특징으로 하는 것으로 나타났다. 10 CFR 50.75와 RG 1.202, NUREG-1713에서는 비용 산정 절차를 제시하고 있다[11-13]. AIF/NESP-036은 해체 활동 단위별 정량적 평가 기준을 제공하고 있다[14]. 반면, 국제기구의 지침은 제도적 원칙과 비용 구조 표준화를 특징으로 하는 것으로 나타났다. IAEA의 GSR Part 6와 SSG-47은 해체 재원 조달의 책임성과 투명성 확보에 중점을 두고 있다[15,16]. OECD/NEA의 ISDC는 비용 항목 표준화를 통해 국제적 비교와 정합성 강화를 지향하는 것으로 분석되었다[17]. 국내 원전 해체 산업의 특성을 반영함과 동시에 국제적 기준에 부합하는 비용 평가 기반 구축을 위해, 국외의 검증된 방법론을 선별적으로 도입하여 국내 실정에 맞게 표준화하는 과정이 필수적이다.

현재 국내 해체 비용 관련 법령 및 고시에서 해체 충당금 산정 의무를 규정하고 있으나[3-6,20], 세부 평가 절차 및 항목 그리고 검증 체계가 부재한 현황이다. 이로 인해 평가자 간 결과 편차 및 검증 불확실성이 발생할 가능성이 클 것으로 판단된다. 따라서 해체 비용 평가 표준 확보를 통해 평가 절차, 산정 항목, 검토 기준, 갱신 주기 등을 명확히 정의하여 제도적 일관성과 실무적 활용성을 확보할 필요가 있다.

결론적으로 본 연구는 미국과 국제기구의 지침 및 방법론을 비교 분석함으로써 국내 해체 비용 평가 표준 개발의 기초 방향성을 도출하였다. 그 결과는 국내 원전 해체 비용 평가 체계 정립과 향후 표준 개발 연구의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 향후 본 연구를 통해 분석한 국외 해체 비용 평가 지침 및 방법론을 기반으로 해체 비용 평가 표준 개발이 필요하다. 개발될 해체 비용 평가 표준은 국내 원전 해체 사업의 비용 산정 신뢰성을 확보하고, 국제 규범과의 정합성을 강화하는 데 기여할 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 기후에너지환경부(MCEE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. RS-2023-00240856).

참고문헌

1. NSSC, 2026, Article 2 of the Nuclear Safety Act, Subparagraph 24.
2. NEA, 2015, The Practice of Cost Estimation for Decommissioning of Nuclear Facilities. NEA No.7237.
3. MOTIR, 2025, Article 17 of the Radioactive Waste Management Act.
4. MOTIR, 2026, Article 5 of Enforcement Decree of the Radioactive Waste Management Act.
5. MOTIR, 2026, Article 12 of Enforcement Decree of the Radioactive Waste Management Act.
6. MOTIR, 2026, Attached Table 3 of Enforcement Decree of the Radioactive Waste Management Act.
7. NSSC, 2026, Article 28 of the Nuclear Safety Act.
8. NSSC, 2026, Article 85-4 of NSSC Regulation No. 36.
9. NSSC, 2026, Article 85-10 of NSSC Regulation No. 36.
10. NSSC, 2021, NSSC Notice No. 2021-10.
11. NRC, 2024, Reporting and recordkeeping for decommissioning planning. 10 CFR 50.75.
12. NRC, 2005, Standard Format and Content of Decommissioning Cost Estimates for Nuclear Power Reactors. Regulatory Guide 1.202.
13. NRC, 2004, Standard Review Plan for Decommissioning Cost Estimates for Nuclear Power Plants. NUREG-1713.
14. Atomic Industrial Forum (AIF)/National Environmental Studies Project (NESP), 1986, Guidelines for Producing Commercial Nuclear Power Plant Decommissioning Cost Estimates. AIF/NESP-036.
15. IAEA, 2014, Decommissioning of Facilities. IAEA No. GSR part 6.
16. IAEA, 2018, Decommissioning of Nuclear Power Plants. IAEA SSG No.47.
17. NEA, 2012, International Structure for Decommissioning Costing (ISDC) of Nuclear Installations. NEA No. 7088.
18. Shin, S. H., 2018, Status of Nuclear Power Plant Decommissioning Cost Analysis in USA.
19. Jeong, K. S., 2005, A Framework of Decommissioning Cost Estimation for Nuclear Research Facilities.
20. MCEE, 2026, MCEE Notice No. 2026-24.
21. KINS, 2024, Safety Review Guideline on Final Decommissioning Plan for Decommissioning Approval. KINS/GE-G002 (Rev.1).