Journal of RADIATION INDUSTRY
Vol. 19, No. 3, pp. 315-321, 2025
https://doi.org/10.23042/radin.2025.19.3.315

Original article

원전 해체 후 부지 재이용을 위한 복원활동 ALARA 평가 방법론 분석

민혜빈[1] · 한창희[1] · 손건우[1] · 김광표[1,*]

[1]경희대학교 원자력공학과

Analysis of ALARA Evaluation Methodology for Nuclear Power Plant Decommissioning and Site Remediation

Hye Bin Min[1], Chang Hee Han[1], Geon Woo Son[1], and Kwang Pyo Kim[1,*]

[1]Department of Nuclear Engineering, Kyung Hee University, 1732, Deogyeong-daero, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 17104, Republic of Korea

ABSTRACT Site remediation activities for the reuse of decommissioned nuclear power plant sites must be conducted in compliance with the ALARA principle, as they involve occupational radiation exposure. In South Korea, while the dose criterion for the public is specified as 0.1 mSv yr^{-1} for post-decommissioning site reuse, a formal ALARA evaluation procedure for remediation activities is currently absent. Therefore, it is necessary to analyze ALARA methodologies from abroad to establish a framework for domestic application. This study analyzes the cost-benefit analysis methodology for ALARA evaluation presented in the U.S. NRC's NUREG-1757 document and examines cases of practical application cases by analyzing the LTPs of decommissioned U.S. nuclear power plants including Rancho Seco, Maine Yankee, Zion, and Big Rock Point. The ALARA evaluation is based on a cost-benefit analysis that compares the cost of remediation activities with the benefit obtained from reducing radiation exposure. Costs include expenditures for equipment, labor, waste disposal, and mortality costs from transportation accidents, while benefits are evaluated by converting the collective dose avoided into a monetary value. The analysis identified key factors that determine the ALARA evaluation results: cost components, site reuse options, and the residual radioactivity removal rate. Specifically, labor and equipment costs accounted for over 50% of the total remediation cost, making them the most critical factors. Furthermore, site reuse options were found to have a decisive impact on benefit calculation by altering the size and occupancy patterns of the exposed population. Under the same reuse conditions, the residual radioactivity removal rate was identified as the sole variable determining the difference in benefits between different remediation activities. The results of this study are expected to be utilized in deriving ALARA Action Levels for site remediation activities at domestic decommissioned nuclear power plants in the future.

Key words: Site Remediation, ALARA, Decommissioning, Site Reuse, Cost-Benefit Analysis

1. 서 론

원전 해체의 최종 단계에서는 부지 또는 잔존건물의 잔류 방사능을 저감하기 위한 부지복원활동이 수행된다. 이때 원전 해체 후 부지 재이용을 위해 부지 및 잔존건물 등은 잔류방사능으로 인한 방사선학적 기준을 충족시켜야 한다. 국내에서는 원안위 고시에 따라 해체 후 부지재이용 시 해당 부지 내 일반인의 피폭선량이 연간 0.1 mSv를 초과하지 않도록 해야 함을 명시하고 있다[1]. 이에 따라, 해체활동의 최종 단계에서는 설정된 잔류방사능유도농도(DCGL, Derived Concentration Guideline Level)를 만족하도록 방사성 오염 저감을 위한 제염 및 복원 조치가 수행되어야 한다. 이러한 부지복원 과정은 작업자의 방사선 피폭이 수반되므로 모든 복원활동은 합리적으로 달성 가능한 한 낮은 수준(ALARA, As Low As Reasonably Achievable)으로 피폭을 최소화하는 원칙 역시 충족되어야 한다[2].

미국의 경우, 해체 사업자는 원전 영구정지 후 최종적으로 운영

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

Copyright© 2025 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 17 September 2025 Revised 22 September 2025 Accepted 29 September 2025

허가를 종료하고 부지의 규제 해제를 위해 미국 원자력규제위원회(NRC)에 인허가종료계획서를 제출해야 한다[3,4]. 이에 따라 NRC는 NUREG-1757을 통해 부지복원활동이 ALARA 원칙을 만족함을 입증할 수 있도록 비용편익분석에 기반한 ALARA 평가 방법론을 제시하고 있다[5]. ALARA는 복원활동 비용편익분석을 바탕으로 수행된다. 미국의 Rancho Seco, Maine Yankee, Zion, Big Rock Point등은 원전 해체 시 LTP내에 NUREG-1757의 방법론을 활용하여 도출한 ALARA 평가 결과를 제시하고 있다.

한편, 국내의 경우 원안위고시 제 2021-11호 '원자력이용시설 해체계획서 등의 작성에 관한 규정'에 따라 해체계획서 작성 시 제염 및 해체활동에 대한 기술이 요구되지만, 현행 고시나 지침에는 부지복원활동에 대한 ALARA 평가를 의무사항으로 명시하고 있지 않다[1]. 그 결과, 현재 국내에서는 해체 후 부지복원 과정에 대한 ALARA 평가가 수행되고 있지 않다. 그러나 고리 1호기의 해체가 승인됨에 따라 상업용 원전의 본격적인 해체가 시작되었으며, 향후 다수의 원전 또한 순차적으로 해체 절차에 진입할 것으로 예상된다. 이때 부지복원의 최종 목표인 DCGL 준수 여부만으로는 ALARA 측면에서 해당 복원 수준이 합리적인지 판단할 수 없다. 이에 따라 국내 또한 미국의 NUREG-1757을 기반으로 한 비용편익 분석을 참고하여 해체 대상 원전에 대해 ALARA 평가를 수행할 필요가 있다.

본 연구의 목표는 ALARA 평가 방법론 및 사례를 분석하여, 국내에서 활용 가능한 ALARA 평가 체계의 기반을 마련하는 것이다. 이를 위해 NUREG-1757의 비용 및 편익 산출 방법론과 미국 해체원전의 ALARA 평가 사례를 분석하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서는 미국의 해체 시 부지복원활동에 대한 ALARA 평가 방법론 및 평가 사례를 분석하였다. 미국 연방법에서는 ALARA 원칙을 부지복원 기준에 포함시켜 법제화하고 있다[4]. 이에 따라 미국에서는 LTP 내에서 부지복원활동에 대한 ALARA 평가를 수행하고 있다. ALARA 평가는 미국 NRC에서 제정한 원자력시설 해체 관련 종합 지침서인 NUREG-1757을 기반으로 이루어진다[5]. 평가 사례 분석은 미국 해체원전 중 LTP가 공개되어 ALARA 평가의 과정과 결과를 확인할 수 있는 사례를 중심으로 수행하였다.

2.1. ALARA Action Level 도출을 위한 ALARA 평가 방법론 분석

NUREG-1757에서는 부지복원활동의 ALARA 만족여부를 평가하기 위해 비용편익분석에 근거한 방법론을 제시하고 있다. 이 방법론은 부지복원활동에 소요되는 비용과, 이를 통해 감소되는 집단선량, 즉 편익을 비교함으로써 부지복원활동의 ALARA 충족 여부를 평가한다. 이때, 편익에 대한 비용의 비를 활용하여 ALARA Action Level을 도출하며, 이 값이 1보다 클 경우 ALARA 원칙을 만족하는 것으로 간주된다[5]. 본 연구에서는 이러한 ALARA 평가에 활용되는 비용편익 산출식 및 인자를 분석하였다.

2.2. 미국 ALARA Action Level 평가 사례 분석

미국에서는 원전 영구정지 후 최종적으로 운영허가를 종료하고 부지의 규제 해제를 위해, 해체 사업자는 NRC에 LTP를 제출해야 한다[6]. LTP 4장에서는 제안된 부지복원활동이 ALARA 원칙을 충족함을 입증하기 위해 관련 평가 결과가 포함되어야 한다. 본 연구에서는 해당 기준에 따라 ALARA 평가를 수행한 미국의 해체원전 사례인 Rancho Seco, Maine Yankee, Zion, Big Rock Point의 LTP를 조사하였다.

해당 LTP에서는 부지 내 방사성오염이 발생한 구조물, 배관, 토양 등 다양한 매체에 대해 적용할 복원활동 기술을 명시하였다. 각 복원활동에 대해서는 비용 편익 분석 결과가 함께 제시되어 있으며, 이를 바탕으로 ALARA Action Level을 도출하였다[7-10]. 본 연구에서는 LTP에 기재된 복원활동과 그에 따른 비용 및 편익 평가 결과를 분석하고, 복원기술별로 도출된 ALARA Action Level 평가 사례를 분석하였다.

3. 결 과

3.1. ALARA Action Level 도출을 위한 ALARA 평가 방법론 분석

ALARA 평가에 앞서 복원이 수행되는 매체와 복원활동을 선정하는 과정이 선행되어야 한다. 이는 복원활동에 소요되는 비용과 그로 인해 얻게 되는 편익이 대상 매체와 복원 활동에 따라 달라지기 때문이다. 미국 원전의 LTP사례를 분석한 결과, 복원 대상 매체는 잠재적 오염이 예상되는 매체를 중심으로 선정되었다. 또한 복원활동은 과거의 수행 경험을 바탕으로 선정되었다[7-10]. 이후 선정된 매체와 복원활동을 대상으로 각각 비용편익 분석을 수행함으로써 ALARA 평가가 이루어진다.

3.1.1. 부지복원활동 비용 평가

NUREG-1757에서는 부지복원활동으로 인해 발생하는 총 비용식을 다음과 같이 제시하고 있다.

$$Cost_T = Cost_R + Cost_{WD} + Cost_{ACC} + Cost_{TF} + Cost_{WDose} + Cost_{PDose} + Cost_{other}$$

$Cost_R$은 부지복원활동에 직접적으로 소요되는 비용이다. $Cost_{WD}$는 부지복원활동으로 인해 발생한 폐기물의 운반 및 처리에 대한 비용이다. $Cost_{ACC}$는 부지복원활동 중 발생한 작업자 사고 사망율을 금전적으로 환산한 비용이다. $Cost_{TF}$는 폐기물 운반 과정 중 발생한 교통사고 사망율을 금전적으로 환산한 비용이다.

$Cost_{WDose}$은 부지복원활동시 작업자 피폭선량을 금전적으로 환산한 비용이다. $Cost_{PDose}$는 폐기물의 굴착, 운반 및 처분 과정에서 일반인이 받을 수 있는 피폭선량을 금전적으로 환산한 비용이다. 마지막으로 $Cost_{other}$는 특정 상황에 추가적으로 고려될 수 있는 기타 비용을 의미한다[5].

Table 1에 각 비용 항목의 산출 방법을 제시하였다. 비용 산출 방법론은 NUREG-1757을 바탕으로, 추가적으로 미국 해체원전 LTP 사례 조사를 통해 보완하였다. 분석 결과, $Cost_R$은 복원활동 작업자의 인건비와 복원활동에 사용되는 장비의 비용 총합으로 산출되며, $Cost_{PDose}$는 대부분의 원전에서 매우 낮은 값으로 나타나 고려되지 않았으며, Zion 사례에서만 반영되었으나 전체 비용의 약 0.01%에 불과하였다[7-10]. 또한 $Cost_{other}$ 역시 실제 사례에서는 고려되지 않았다[7-10]. 그 외 비용은 NUREG-1757 방법론과 동일하다[5].

3.1.2. 부지복원활동 편익 평가

부지복원활동시 발생하는 편익은 잔류방사능 제거로 인해 해당 부지에 거주할 것으로 예상되는 일반인의 회피선량이다. 따라서 부지복원활동의 편익은 집단 회피선량을 금전적 가치로 환산하여 평가된다. 해체활동과 같이 여러 세대에 걸쳐 장기간 수행되는 작업의 경우, 방사성핵종의 붕괴로 인한 영향, 화폐할인율 등을 고려해야 할 필요가 있다[5]. 아래에 해당 사항들을 고려한 집단 회피선량으로 인한 편익 계산 식을 나타내었다.

$$B_{AD} = V_{AD} \times PW\,(AD_{collective})$$

$$PW\,(AD_{collective}) = P_D \times A \times 0.025 \times F \times \frac{Conc}{DCGL_W} \times \frac{1 - e^{-(r+\lambda)N}}{r+\lambda}$$

Table 2에 복원활동으로 인한 편익 평가 시 활용되는 인자를 나타내었다. 편익의 경우, 모든 복원활동에 동일하게 적용되는 기본값과 사용되는 복원활동의 기술 별 잔류방사능 제거율에 따라 최종 값이 변동된다[5,7-10].

Table 1. Cost Analysis Methodology for Remediation Activities [5,7-10]

Cost Component		Equation
$Cost_R$	Labor cost	Remediation worker wage × working hours
	Equipment cost	Based on reference data from previous remediation activities
$Cost_{WD}$	Volume of waste produced × cost of waste disposal per unit volume	
$Cost_{ACC}$	Monetary value of a statistical life × workplace fatality rate × working time	
$Cost_{TF}$	Monetary value of a statistical life × $\frac{volume\ of\ waste\ produced}{volume\ of\ a\ truck\ shipment}$ × fatality rate × distance traveled	
$Cost_{WDose}$	Value of incurred dose × TEDE rate to remediation workers × working hours	
$Cost_{PDose}$	-	
$Cost_{other}$	-	

Table 2. Benefit Analysis Methodology for Remediation Activities [5,11-14]

Parameter	Description
V_{AD}	value of averted dose
$PW\,(AD_{collective})$	present worth of a future collective averted dose
P_D	population density for the critical group scenario
A	area being evaluated
0.025	annual dose to an average member of the critical group from residual radioactivity at the derived concentration guideline level ($DCGL_W$) concentration
F	effectiveness, or fraction of the residual radioactivity removed by the remediation action
$Conc$	average concentration of residual radioactivity in the area being evaluated
$DCGL_W$	derived concentration guideline equivalent to the average concentration of residual radioactivity that would give a dose of 0.25 mSv y^{-1} (25 mrem y^{-1}) to the average member of the critical group
r	monetary discount rate
λ	radiological decay constant for the radionuclide
N	number of years over which the collective dose will be calculated

Table 3. Cost Evaluation of Rancho Seco, Maine Yankee, Zion, Big Rock Point [7-10]

NPP	Contaminated Media	Remediation Activities	$Cost_R$	$Cost_{WD}$	$Cost_{ACC}$	$Cost_{TF}$	$Cost_{WDose}$	$Cost_{PDose}$	$Cost_{Total}$
Rancho Seco	structure	Pressure water washing and vacuuming	172,895	135,777	574	670	1,139	-	311,054
		Washing and wiping	1,005,371	172,250	3,770	1,137	13,300	-	1,195,828
		Scabbling (0.25 inch)	101,690	31,750	238	210	617	-	134,505
		Scabbling (0.125 inch)	50,477	15,590	119	105	309	-	66,961
		Surface Grit Blasting	168,374	23,975	397	158	1,541	-	194,445
	pipe	Grit Blasting	143,849	2,625	56	17	112	-	146,659
	soil	Soil excavation	243,555	3,750,000	556	24,745	871	-	4,019,727
Maine Yankee	structure	Pressure water washing and vacuuming	90,856	46,280	105	7	11,160	-	148,858
		Washing and wiping	306,366	14,550	477	10	52,965	-	374,368
		Scabbling (0.635 cm)	651,284	105,817	522	21	60,753	-	818,397
		Scabbling (0.32 cm)	590,664	52,908	522	10	60,753	-	704,858
		Surface Grit Blasting	736,171	79,626	478	16	55,630	-	871,921
	pipe	Grit Blasting	247,515	20,850	129	4	14,369	-	282,867
	soil	Soil excavation	216,100	2,356,596	58	453	3,670	-	2,576,878
Zion	structure	Scabbling	N/A	80,000	175.27	631.69	8,346	69	517,407.37
	soil	Soil excavation	N/A	3,750,000	N/A	29,610.66	N/A	-	3,779,610.66
Big Rock Point	soil	Soil excavation (150 m^3)	271,250	202,000	60	5,000	474	-	478,800
	soil	Soil excavation (33 m^3)	29,260	79,107	30	1,758	235	-	110,223

*Values are rounded, and minor discrepancies may exist due to rounding
*N/A indicates that the corresponding value was not provided in the LTP

3.1.3. 비용편익분석 기반 ALARA Action Level 도출

ALARA를 만족하기 위해, 부지복원활동으로 인해 발생하는 비용 및 편익이 균형을 이뤄야 한다. NUREG-1757에서는 부지복원활동이 ALARA를 만족시키는 부지 잔류방사능 농도인 $Conc_{ALARA}$를 정의하였다[5]. 이에 비용 및 편익의 관계식을 활용해 $DCGL_W$에 대한 $Conc_{ALARA}$의 비를 도출하였으며 이를 ALARA Action Level로 정의한다.

$$\frac{Conc_{ALARA}}{DCGL_W} = \frac{Cost_T}{V_{AD} \times P_D \times 0.025 \times F \times A} \times \frac{r+\lambda}{1-e^{-(r+\lambda)N}}$$

3.2. 국외 ALARA 평가 사례 조사

Table 3에는 본 연구에서 조사한 네 개의 원전 Rancho seco, Maine Yankee, Zion, Big Rock Point를 대상으로 복원활동별 비용평가 결과를 나타냈으며, Table 4에는 각 복원활동에 대한 ALARA 평가 결과를 나타내었다. 여기서 복원활동은 건물과 토양으로 구분되는데, 이는 두 가지 부지 재이용 옵션에 해당한다. 건물은 잔존 건물을 재이용하는 경우를, 토양은 건물을 철거한 후 해당 부지를 재이용하는 경우를 의미한다. Table 5에는 ALARA 평가 시 활용되는 편익에 해당하는 인자들에 대한 기본값을 나타내었다. 이 값을 복원활동과 관계없이 공통적으로 적용되는 기본값이다.

4. 고 찰

본 연구에서는 NUREG-1757에서 제시하고 있는 ALARA Action Level 평가 방법론을 조사하였다. 해당 권고에서 제시된 비용-편익 산정식을 토대로, 복원 대상 물량 및 비용 등 복원활동에 소요되는 인자들을 대입하여 ALARA Action Level을 정량적으로 평가할 수 있음을 확인하였다.

Rancho Seco, Maine Yankee, Zion, Big Rock Point 원전의 LTP를 분석하여 부지복원활동에 대한 비용-편익 분석을 수행함으로써 ALARA 원칙 충족 여부를 확인하였다. 분석 결과, 각 원전의 모든 부지복원활동의 ALARA Action Level이 1 이상으로 나타났다. 이는 복원 활동에 소요되는 비용이 해당 활동으로부터 얻는 방사선 피폭 저감 편익보다 높게 산정되었기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 결과는 DCGL 수준까지만 복원 활동을 수행하더라도 ALARA 원칙을 만족함을 시사한다[7-10].

복원활동별 총 비용 구성을 분석한 결과, 인건비와 장비비용으

Table 4. ALARA Evaluation Results of Rancho Seco, Maine Yankee, Zion, Big Rock Point [7-10]

NPP	Contaminated Media	Remediation Activities	Area being evaluated (m^2)	Fraction of the residual radioactivity removed	Conc/ DCGL
Rancho Seco	structure	Pressure water washing and vacuuming (building)	N/A	0.25	1.31
		Washing and wiping (building)	N/A	0.2	6.31
		Scabbling (0.25 inch) (building)	N/A	0.25	5.75
		Scabbling (0.125 inch) (building)	N/A	0.125	5.72
		Surface Grit Blasting (building)	N/A	0.95	2.19
	pipe	Grit Blasting (building)	N/A	0.95	42.77
	soil	Soil excavation (building)	N/A	0.95	1,142
Maine Yankee	structure	Pressure water washing and vacuuming (soil)	10,000	0.25	99.4
		Pressure water washing and vacuuming (building)	100	0.25	1.9
		Washing and wiping (soil)	10,000	0.2	312.6
		Washing and wiping (building)	100	0.2	6
		Scabbling (0.635 cm) (soil)	10,000	0.95	143.9
		Scabbling (0.635 cm) (building)	100	0.95	2.76
		Scabbling (0.32 cm) (soil)	10,000	0.95	123.9
		Scabbling (0.32 cm) (building)	100	0.95	2.38
		Surface Grit Blasting (soil)	10,000	0.95	153.3
		Surface Grit Blasting (building)	100	0.95	2.94
	pipe	Grit Blasting (soil)	10,000	0.95	91.6
	soil	Soil excavation (soil)	10,000	0.95	733.9
Zion	structure	Scabbling (soil)	10,000	0.95	98,975.87
	soil	Soil excavation (soil)	10,000	1	434.08
Big Rock Point	soil	Soil excavation (150 m^3) (soil)	N/A	N/A	N/A
	soil	Soil excavation (33 m^3) (soil)	N/A	N/A	N/A

*N/A indicates that the corresponding value was not provided in the LTP

로 구성된 $Cost_R$이 총 비용에서 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 나타났다. Soil excavation을 제외한 모든 복원활동에서 $Cost_R$이 비용의 최소 50% 이상을 점유하여 ALARA Action Level에 가장 큰 영향을 주는 인자임을 확인하였다. Soil excavation의 경우 토양의 전량을 처분하는 경우이기 때문에 폐기물 처분비용이 가장 높은 비중을 나타내어 예외적인 특성을 보였다.

복원활동의 편익 분석 결과, Maine Yankee 사례에서 동일한 매체에 동일한 복원활동을 수행하더라도 ALARA Action Level 값이 다르게 나타나는 경우를 확인하였다. 이는 부지 재이용 옵션에 따른 차이로 분석되었다. 부지 재이용 옵션은 크게 복원 후 건물이 잔존하는 경우와 대상 건물을 철거하여 부지를 사용하는 경우로 구분되며, NUREG-1757에서는 두 재이용 옵션에 따라 편익 평가 인자를 구분하여 제시하고 있다[5]. 이는 피폭을 받을 것으로 예상되는 인구집단의 규모와 점유 양상이 옵션에 따라 달라지기 때문이다. Maine Yankee 원전의 사례 분석에 따르면, 건물이 잔존하는 경우보다 대상 건물을 모두 철거하는 경우 ALARA Action Level이 더 높게 나타났다[8]. 이는 건물이 잔존하는 경우 제한된 공간에서 인구밀도가 높아 동일한 오염저감에 대한 편익이 크게 산정되는 반면, 건물을 철거하는 경우 부지 전체에 걸쳐 분산된 피폭 집단에게 회피 선량이 분배되어 편익이 상대적으로 작게 산정되기 때문으로 분석된다. 결과적으로 건물을 철거하고 부지를 이용하는 경우, 편익이 더 낮게 산정되어 ALARA Action Level이 상대적으로 높게 나타나는 것으로 판단된다.

동일한 부지 재이용 옵션 내에서 복원활동의 편익을 분석한 결과, 잔류방사능 제거율을 제외한 나머지 인자들은 모든 복원활동에 대해 동일한 값이 적용되는 것으로 나타났다[7-10]. 잔류방사능 제거율은 편익에 비례하므로, 동일한 재이용 옵션 조건에서 복원활동 간 편익 차이는 잔류방사능 제거율에 의해서만 결정된다. 따라서 잔류방사능 제거율이 높을수록 ALARA Action Level 값이 증가하며, 결과적으로 $Cost_R$과 잔류방사능 제거율이 ALARA Action Level의 주요 결정 인자임을 확인하였다.

5. 결 론

부지 재이용을 위한 부지복원활동은 원안위고시에 따라 해당 부지 내 일반인의 피폭선량이 연간 0.1 mSv를 초과하지 않도록 하는 방사선학적 기준을 만족해야 한다[1]. 또한 부지복원활동은 작업자의 방사선 피폭이 수반되므로 방사선 방호 최적화 원칙인 ALARA 또한 만족시켜야 한다[2]. 하지만 국내의 경우 해체원전의 부지복원활동에 대한 ALARA 평가 방법론이 마련되어 있지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 NUREG-1757에서 제시하는 ALARA 평가 방법론을 분석하고, 미국 해체원전의 적용 사례를 조사하였다.

국외 해체원전의 부지복원활동에 대한 ALARA 평가 방법론 조사 결과, ALARA 평가는 비용 편익 분석을 통해 도출되는 ALARA Action Level로 평가할 수 있다. 비용의 경우에는 부지복원활동을 하며 소요되는 장비비용, 인건비, 폐기물 처분비용, 교통사고로 인한 사망비용 등이 포함되며, 편익의 경우에는 집단이 회피하게 될 선량을 금전적인 가치로 환산하여 평가된다. ALARA Action Level이 1 이상일 경우 해당 복원활동을 DCGL 수준까지만 수행하여도 ALARA 원칙을 만족하는 것으로 평가된다[5].

미국 해체원전 Rancho Seco, Maine Yankee, Zion, Big Rock Point의 LTP 사례 분석 결과, 모든 원전의 부지복원활동에서 ALARA Action Level이 1 이상으로 나타나 DCGL 수준의 복원만으로도 ALARA 원칙을 충족함을 확인하였다[7-10]. 이는 복원활동에 소요되는 비용이 해당 활동으로 인한 방사선 피폭 저감 편익보다 크게 산정되었기 때문으로 분석되었다. 복원활동별 비용 구성요소 분석을 통해 Soil excavation을 제외한 대부분의 복원활동에서 인건비와 장비비용으로 구성된 $Cost_R$이 총 비용의 최소 50% 이상을 차지하여 ALARA Action Level 결정에 가장 중요한 인자임을 확인하였다.

편익 평가 분석에서는 부지 재이용 옵션이 편익 산정에 결정적 영향을 미침을 확인하였다. Maine Yankee 사례 분석을 통해 건물이 잔존하는 경우와 건물을 철거하여 부지를 이용하는 경우에 따라 피폭 집단의 규모와 점유 양상이 달라져 편익이 크게 변화함을 확인하였다. 건물 철거 시 피폭 집단이 부지 전체에 분산되어 편익이 상대적으로 작게 산정되므로 ALARA Action Level이 높게 나타났다[8]. 동일한 부지 재이용 옵션 조건에서는 잔류방사능 제거율이 복원활동 간 편익 차이를 결정하는 유일한 변수로 작용하여, 결과적으로 $Cost_R$과 잔류방사능 제거율이 ALARA Action Level의 주요 결정 인자임을 도출하였다.

본 연구의 결과는 향후 국내 해체원전의 부지복원활동의 ALARA 평가를 위한 기반 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Korea Nuclear Safety and Security Commission. 2021. Notice on the Standards for the Management of Residual Radioactivity in Decommissioning Sites (2021-11), Article 4. NSSC Notice No. 2021-11. Republic of Korea.
2. ICRP. 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Annals of the ICRP 37 (2-4). International Commission on Radiological Protection.
3. U.S. Code of Federal Regulations. 2022. Title 10, Energy, Part 20, Subpart E, Section 1402. U.S. Government Publishing Office.
4. U.S. Code of Federal Regulations. 2022. Title 10, Energy, Part 20, Subpart E, Section 1403. U.S. Government Publishing Office.
5. NRC. 2006. Consolidated Decommissioning Guidance: Characterization, Survey, and Determination of Radiological Criteria (Final Report). NUREG-1757, Volume 2, Revision 1. U.S. Nuclear Regulatory Commission.
6. U.S. Code of Federal Regulations. 2022. Title 10, Energy, Part 50, Section 82(a)(4). U.S. Government Publishing Office.
7. Sacramento Municipal Utility District. 2006. “Rancho Seco License Termination Plan”, Revision 1.
8. Maine Yankee Atomic Power Company. 2009. “Maine Yankee License Termination Plan”, Revision 5.
9. ZION SOLUTIONS LLC. 2018. “Zion Station Restoration Project License Termination Plan”, Revision 2.
10. Consumers Energy Company. 2004. “Big Rock Po2411int License Termination Plan”, Revision 1.
11. U.S. Nuclear Regulatory Commission. 2004. “Regulatory Analysis Guidelines of the U.S. Nuclear Regulatory Commission”, Rev. 4, NUREG/BR-0058.
12. NRC. 1997. Reassessment of Decommissioning Cost Estimates for Power Reactors. NUREG-1530. U.S. Nuclear Regulatory Commission.
13. Seo H, Yu J, Kim G and Son J. 2022. Preliminary ALARA residual radioactivity levels for Kori-1 decommissioning and analysis of results and effects of remediation area. *Nuclear Engineering and Technology* **54**(3):1136-1144.
14. U.S. Nuclear Regulatory Commission. 1997. “Generic Environmental Impact Statement in Support of Rulemaking on Radiological Criteria for License Termination of NRC-Licensed Nuclear Facilities”, Vol. 2, Final report, NUREG-1496.
15. U.S. Nuclear Regulatory Commission. 2022. “Reassessment of NRC’s Dollar Per Person-Rem Conversion Factor Policy”, Final report, Rev. 1, NUREG-1530.
16. U.S. Environmental Protection Agency. 2007. “Technology Reference Guide for Radioactively Contaminated Media”.
17. U.S. Nuclear Regulatory Commission. 2018. “Standard Review Plan for Evaluating Nuclear Power Reactor License Termination Plans”, Rev. 2, NUREG-1700.
18. U.S. Nuclear Regulatory Commission. 1995. “Revised Analyses of Decommissioning for the Reference Pressurized Water Reactor Power Station”, Final Report, Vol.1, NUREG/CR-5884.
19. Sacramento Municipal Utility District. 2006. “Rancho Seco Nuclear Generating Station Decommissioning Technical Basis Document”, DTBD-05-015.

20. U.S. Nuclear Regulatory Commission. 1988. “Final Generic Environmental Impact Statement on decommissioning of nuclear facilities”, NUREG-0586.
21. Zion SOLUTIONS LLC. 2014. “Zion Auxiliary Building End State Estimated Concrete Volumes, Surface Areas, and Source Terms”, Revision 0, TSD 14-013.
22. Zion SOLUTIONS LLC. 2017. “Description of Embedded Piping, Penetrations, and Buried Pipe to Remain in Zion End State”, Revision 0, TSD 14-016.