JOURNAL OF RADIATION INDUSTRY

Technical paper

16(1) : 63-68 (2022)
https://doi.org/10.23042/radin.2022.16.1.63

국내 표준품셈 품의 할증을 활용한 국내 원자력발전소 해체 작업난이도 인자 개선 방안 연구

김재현[1], 이승현[2,*]

[1]한양대학교 원자력공학과, [2](사)한국방사선진흥협회

A Study on Methods to Improve the Work Difficulty Factor in Korean Nuclear Power Plants Decommissioning using Premium Labor Cost Factors in Domestic Standard Costing

Jae Hyun Kim[1] and Seung Hyun Lee[2,*]

[1]Department of Nuclear Engineering, Hanyang University, 222 Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul 04763, Republic of Korea
[2]Korean Association for Radiation Application, 77 Seongsuil-ro, Seongdong-gu, Seoul 04790, Republic of Korea

Abstract The decommissioning of a nuclear power plant requires not only the management of many resources but also the execution and management of many tasks according to the decommissioning process. Therefore, prior to decommissioning a nuclear power plant, a cost estimate process is essential through a reasonable decommissioning cost evaluation through sufficient research and review. Considering the domestic decommissioning situations which have only experience in decommissioning two research reactors, there are many difficulties in performing detailed and accurate decommissioning cost assessments. In this study, in order to develop the work difficulty factors suitable for the decommissioning situation of a domestic nuclear power plant, the work difficulty factors previously used in overseas decommissioning were improved by utilizing the premium labor cost factors of standard costing used in domestic other industries. It was confirmed that the premium labor cost factors of standard costing have the same addition method as the work difficulty factor and contain similar factors. Also, through analyzing the premium labor cost factors, the factors applicable to the existing work difficulty factors were derived. It is expected that the improved work difficulty factor through this study can be used as basic data in the domestic nuclear power plants decommissioning in the future by performing the evaluation of the feasibility of the selected items and the suitability of premium labor cost.

Key words: Work difficulty factor, Standard costing, Premium labor cost factor, Decommissioning cost estimates

1. 서 론

원자력발전소(이하 "원전")의 해체는 허가 또는 지정된 원자력 관련 시설의 운영을 영구적으로 정지한 후 해당 시설의 부지를 제거하거나 방사성 오염물질을 제염하는 모든 행위를 말한다[1]. 원전의 해체를 위해서는 많은 자원(물자, 인력, 재원 등)의 관리뿐만 아니라 해체 공정에 따른 많은 업무의 수행과 관리를 필요로 한다. 따라서

http://www.ksri.kr/
Copyright © 2022 by
Korean Society of Radiation Industry
***Corresponding author.** Seung Hyun Lee
Tel. +82-2-3490-7113 E-mail. shlee@ri.or.kr
Received 11 March 2022 **Revised** 24 March 2022 **Accepted** 29 March 2022

사업주는 원전 해체에 앞서 사전에 충분한 연구와 검토를 통한 합리적인 해체 비용 평가를 통해 예산 책정 과정이 필수적으로 요구된다. 예산 책정은 모든 사업주들에게 엄청난 도전 과제이지만, 특히나 2기의 연구용 원자로 해체 경험만을 가지고 있는 국내 원전 해체 상황에서는 이미 영구 정지되어 곧 해체에 착수될 고리 1호기와 월성 1호기 등의 상용원자로의 해체를 위한 상세하고 정확한 해체 비용 평가를 수행하기에는 많은 어려움이 따른다[2].

원전 해체 비용을 산정하기 위해서는 해체 대상 시설의 구성요소와 해체 작업공정에 대한 단위비용 항목을 바탕으로 산정하여야 한다. 그러나 원전 해체 과정은 불분명한 가정이 많고, 비용의 산정에 대한 기준이 다양하여 적합한 단위비용 항목 구성이 어렵기 때문에 비용 산정에 있어 불확실성이 높은 것이 현실이다. 이에 국내 타 산업분야(건설공사, 정보통신, 전기공사 등)에서는 사업주가 실제 비용을 사전에 결정할 수 없기 때문에 표준품셈을 도입하여 이 문제를 해결하려고 노력하고 있다. 표준품셈이란 공공기관에서 시행하는 공사의 적정한 예정가격을 산정하기 위한 일반적인 기준으로 대표적이고 일반화된 공종 및 공법을 기준으로 단위작업당 소요되는 재료량, 노무량, 장비 사용시간 등을 수치로 표시한 표준적인 기준을 의미한다.

예산은 특정 기간 동안의 지출 추정치로, 일반적으로 원전 해체 비용 평가 프로그램을 사용하여 추정된다. 그러나 그것은 표준비용과 동일하지 않다. 예산에 표준비용을 포함할 수 있지만 실제 원전 해체 상황에서 발생되는 모든 비용이 정확히 일치하지 않기 때문이다. 이를 위해 일반적으로 어느 특정한 해체작업을 수행하는 데 요구되는 평균시간 외에 회피할 수 없는 요인으로 인해 작업지연을 유발시키는 요인을 작업난이도 인자(Work difficulty factor, 이하, WDF)로 정의하여 비용 산정 시 작업시간 증가 비율로 산정한다. 이러한 작업난이도 인자는 이미 해외 해체 사례에서 적용되어 널리 사용되고 있으나, 정해진 특정 수치가 아닌 범위로 제시되어 각각의 원전 해체 상황에 따라 다르게 적용되며 국내는 해체 경험이 없기 때문에 국내 상황에 맞는 작업난이도 인자의 설정이 요구되고 있다. 한편, 타 산업분야의 표준품셈에서 품의 할증이라는 항목으로 국내 공사 상황에 맞게 적용되어 사용되고 있으나 해외 해체 사례에서 사용되는 작업난이도 인자와는 다소 상이한 체계를 가지고 있다.

이에 본 연구에서는 국내 원전 해체 상황에 맞는 작업난이도 인자의 개발을 위해 타 산업분야에서 활용되고 있는 표준품셈 품의 할증을 활용하여 기존에 해외 해체 상황에서 사용되었던 작업난이도 인자를 국내 원전 해체 상황에 맞게 개선하고자 한다.

2. 방법 및 결과

2.1. 작업난이도 인자

작업난이도 인자는 어느 특정한 해체작업을 수행하는데 요구되는 평균시간 외에 회피할 수 없는 요인으로 인해 작업지연을 유발시키는 요인을 의미하며, 비용 산정 시 작업시간 증가비율로 나타낸다[3]. 이는 원전 해체 비용 평가 시 작업 현장을 고려하여 인건비와 관련된 모든 비용이 적절하게 산정되어 원전 해체 비용에 대한 신뢰성을 향상시키기 위해 도입되었다.

오염된 구역에서의 작업 수행 시, 방사성 환경에서 작업자를 보호하고 안전하게 작업을 수행하기 위한 추가 시간은 필연적으로 요구된다. 작업자의 생산성에 대한 작업 시간 추정은 제한적 차폐를 위한 의복과 방사성 위험에서의 여과된 호흡기를 통한 호흡, 사다리 위에서의 고공작업 등과 관련된 비효율성을 인식해야 한다. ALARA 원칙에 따라 작업자는 방사능 지역에 들어가기 전에 할당된 해체 업무에 대한 차폐 및 노출시간 제한 등 방사선 방호에 대한 노력이 필요하다. 고공작업이나 방사능 지역의 출입 등에 작업 허가를 위한 요구사항들은 매우 중요하지만 해당 작업자의 생산 시간을 소모한다. 따라서 이러한 작업들은 오염되지 않은 배관이나 구성요소 및 구조물에 대한 작업과 다르게 근무 시간과 장소를 오가는 데 소요되는 시간에 대한 추가적인 수당이 있어야 한다. 작업난이도 인자는 특정 상황에서 발생하는 생산성 저하요인으로서 직접적으로 작업시간의 증가를 가져오며, 이로 인해 해당상황에서 단위작업비용을 증가시키게 된다.

원전 해체를 경험한 해외 여러 국가에서는 다소 상이한 원전 해체 비용 산정 방법론을 가지고 있지만 작업난이도 인자 적용에 대해서는 일반적으로 AIF/NESP-036 보고서를 인용하여 원전 해체 비용을 산정하고 있다[4]. 본 보고서에서는 작업난이도 인자로 5가지 요소를 제시하였으며, 그 요소는 접근성, 호흡방호장구, 방사선 및 ALARA, 개인방호복, 휴식시간이다. 식 (1)은 작업난이도 인자의 적용방법을 나타낸다.

$$WDF = (1 + A + B + C) \times (1 + D) \times (1 + E) \quad (1)$$

여기서, A = 접근성, B = 호흡방호장구,
C = 방사선 및 ALARA, D = 개인방호복, E = 휴식시간

접근성 인자는 대부분의 원전 구조물에 대한 해체 활동을 수행하기 위해 다소 높은 위치에서의 작업에 대한 인자로 작업구역의 높이와 혼잡성을 고려하여 적용한다. 호흡방호장구 인자는 해체 활동으로 인한 공기 중 오염으로 작업자를 보호하기 위해 일시 또는 계속적인 호흡장구(예, 필터 마스크 등) 착용에 대해 요구되는 인자로 방사선학적 보호 기능을 보장하기 위해 주변 시야, 자유로운 호흡, 효율적인 동작 제한 등을 보상하기 위해 적용한다. 방사선 및 ALARA 인자는 방사선구역에서의 작업으로 작업 제한, 차폐, 모의실행 등에 따라 적용한다. 또한, 개인방호복 인자는 보호복의 사용, 통제된 폐기 등 개인방호복의 종류에 따라 적용하며 휴식시간은 미리 예정된 작업 휴식시간에 대해 작업자의 합의에 따라 필요한 비생산시간에 대한 것으로 일상적인 작업의 휴식을 고려하여 적용한다. Table 1은 AIF/NESP-036 보고서에 근거한 작업난이도 인자와 IAEA의 연구용 원자로, 한국원자력연구원의 신규 핵연료가공사업을 위한 다목적 소형연구로용 핵연료가공시설의 예비해체계획서에 적용된 작업난이도 인자를 비교하였다.

Table 1에서 보는 바와 같이 작업난이도 인자는 일반적으로 AIF/NESP-036 보고서에서 제시한 다섯 가지 항목에 대해서는 해당 범위에 내에서 원전 해체 상황에 따라 다르게 적용하고 필요에 따라 작업난이도 인자 항목(예: Equipment change)을 추가하는 식으로 원전 해체 비용 산정에 적용되어 왔다. 그러나 이러한 작업난이도 인자는 국내에서 법제도적으로 기준요건이 마련되어 있지 않기 때문에 기존에 국내에서 연구된 원전 해체 비용 산정 결과는 AIF/NESP-036 보고서와 해당 보고서를 인용한 해외 해체 사례의 작업난이도 인자를 참고하여 논리적 근거가 다소 부족함에도 통상적인 수치로 적용되어 왔다.

2.2. 국내 표준품셈의 품의 할증

표준품셈이란 공공기관에서 시행하는 공사의 적정한 예정가격을 산정하기 위한 일반적인 기준을 세우기 위해 가장 대표적이고 타당성 있는 공종으로 경제성을 고려한 합리적인 표준공법과 설계기준에 의하여 지역 및 기타 여건에 맞는 조건으로 명확한 근거에 의해 작업여건 등을 감안하여 기계화시공과 노동력 등을 적정하게 산정하여 공평성과 신뢰성을 확보하고자 하는 목적으로 제정되었다[7]. 일반적으로 품셈의 개발과 해석·보급 등 품셈관련 관리 업무를 전문적으로 수행하도록 정부가 지정한 "표준품셈 관리기관"에 의해 매년 공표되며 국가, 지방자치단체, 정부기관 등의 감독과 승인을 요하는 기관 등에서는 표준품셈은 공사비 예정가격 산정을 위한 기초자료로 활용하고 있다. Table 2는 국내 표준품셈 관리부처 및 관리기관을 나타내고 있다.

일반적으로 플랜트 건설 및 유지보수 시에는 건설공사 표준품셈에 의한 적산방식과 실적공사비 단가를 활용한 적산방식으로 구분할 수 있다. 두 가지 방식 모두를 적용하도록 하고 있는 것은 각각의 장단점을 서로 상호·보완하여 활용할 수 있도록 하기 위함이다[8]. 그러나 원자력발전소 해체의 경우 원전 해체 사업에 대한 표준품셈도 존재하지 않으며, 국내에서 원전 해체를 수행한 실적이 없기 때문에 실적공사비 단가를 적용할 수 없다. 또한, 원전 해체의 경우 건설과 달리 운영 중에 발생한 막대한 방사선학적인 오염에 대한 영향을 무시할 수 없으며 타 분야의 건설 및 해체 과정에서 이루어지는 일상적인 공정과 유사하게 진행할 수 없기 때문에 원전 해체사업만의 독립

Table 1. Comparison of work difficulty factors applied to domestic and foreign nuclear decommission [4-6]

	Work difficulty factor	AIF/NESP-036	IAEA-TECDOC	ARA reactor
A	Height	10~20%	15%	10%
B	Respiratory protection	10~50%	38%	15%
C	Radiation/ALARA	10~40%	15%	10%
D	Protective clothing	10~40%	23%	10%
E	Work break	8.33%	10%	8.33%
F*	Equipment change	–	10~50%	10%

*Equipment change is not supposed in the AIF/NESP-036 report but considered for actual cost estimate.

Table 2. Management ministries and associations on standard costing in Korea

Classification		Ministry	Association
Construction	Architecture, civil engineering, mechanical facility	Ministry of Land, Infrastructure and Transport	Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology
	Information and communication	Ministry of Science and ICT	Korea Information and Communication Industry Institute
	Electricity	Ministry of Trade, Industry and Energy	Korea Electric Association
	Fire fighting	National Fire Agency	Korea Fire Facility Association
Engineering	Engineering	Ministry of Trade, Industry and Energy	Korea Engineering and Consulting Association
Etc.	Industrial design	Ministry of Trade, Industry and Energy	Korean Federation of Design Industry Associations

Table 3. Additional premium allowance for working time in Korea standard costing [9]

No.	Classification	Premium ratio	Note
1	Work efficiency	~20%	Military operation area
2	Limited space	~50%	Island, airport, mountainous area
3	Train frequency	3~7%	Train passing area
4	Overtime	~25%	Night shift except for official work
5	Small-unit work	~25%	Small tasks, not repetitive tasks
6	Area type	~50%	Flat land, hill, paddy field, downtown, residential area, etc.
7	Terrain type	30~50%	River side or valley crossing
8	Risk work	10~80%	Bridge, high/underground, close to electric line, tunnel, etc.
9	Building floor	1~7%	Ground and basement floor
10	Hazard-specific	10~30%	High temperature, dangerous material harmful gas, etc.
11	Special work	5~10%	Special technology and safety management work
12	Limited time	~35%	Work for limited time
13	Extra work	~50%	Narrow place, noise, vibration, preparing work, etc.
14	Moving time	~50%	Remote work, distributed work place, etc.
15	NPP construction	Not decided*	Separate premium for each process

*In the case of processes in which the quality and safety inspection for each work stage is strictly applied in nuclear power plant construction, a work premium is added separately for each process.

적인 공정과 비용 산정에 대한 체계가 있어야 함은 분명할 것이다.

한편, 국내 표준품셈에 따르면 공사규모, 현장조건 등 종합적인 요인을 감안하여 고소작업이나 지형상의 문제 혹은 위험성 등을 포함하는 공정에 있어 작업능률의 현저한 저하를 초래하는 요인에 대해 앞서 언급한 작업난이도 인자와 유사하게 작업시간에 대한 증가 비율로 산정하는 체계를 품의 할증이라고 정의하고 해당 사업을 진행함에 있어 품의 할증 항목 중에 해당하는 항목이 있을 경우 이에 대한 할증을 반영하여 비용 산정에 적용하고 있다. 이러한 품의 할증은 기존에 제시된 작업난이도 인자에 비해 상당히 체계적이고 상세한 분류 체계를 가지고 있으며 그 항목은 Table 3과 같다.

2.3. 국내 표준품셈의 품의 할증을 활용한 작업난이도 인자 개선 결과

향후 진행될 고리 및 월성 원전의 원활한 해체를 위해 국내 상황을 고려한 원전 해체 비용을 산정할 수 있도록 합리적인 작업난이도 인자를 설정해야 한다. 앞서 언급한 대로 아직 국내 원전에서는 원전 해체사업에 대한 표준품

Table 4. Applicable items of Additional Premium Allowance (APA) for Working Time to improve Work Difficulty Factors (WDF)

No.	WDF	APA	Similar feature
A	Height	Risk work	High/underground work
B	Respiratory protection	Extra work	Preparing work
C	Protective clothing		
D	Radiation/ARALA	Hazard-specific Limited time	Dangerous material disposal Radiation exposure, etc.
E	Work break	−	−
+*	−	Special work	Safety management work

*It's not in the existing work difficulty factor, but should be added.

셈이 확립되지 않았으며, 원전 해체 작업환경을 고려한 작업난이도 인자도 만들어지지 않았다. 국내 타 사업의 표준품셈 품의 할증은 작업난이도 인자와 동일한 가산방법을 가지고 있으며 다소 유사한 항목들을 포함하고 있음을 확인하였다. 이에 타 산업분야에서 확립된 표준품셈을 활용하여 원전 해체 비용을 합리적으로 산정함으로써 사회경제적 이점을 가질 수 있고, 국내 해체 상황에 맞게 국내 상황에 맞는 작업난이도 인자를 설정함으로써 원전 해체 비용을 보다 정확하고 신뢰성 있게 추정할 수 있을 것이다. 그 노력의 일환으로 앞서 언급한 15개 항목의 품의 할증에 대해 기존의 작업난이도 인자에 적용 가능한 항목을 분석하여 도출하였으며 그 결과는 Table 4에 나타내었다.

표준품셈 품의 할증에서 작업난이도 인자를 개선하기 위해 고려될 수 있는 항목은 5가지 항목으로 위험 할증, 기타 할증, 유해별 할증, 작업시간제한 할증, 특수작업 할증으로 나타났다. 품의 할증에서 원전건설 인자는 원전 해체에 해당되지 않아 제외하였으며 작업난이도 인자에서 호흡기 보호와 방호복은 서로 겹치는 항목으로 판단되어 기타 할증으로 통합하고 방사선/ARALA의 경우 보다 세분화할 필요가 있어 유해별 할증, 작업시간제한 할증으로 분할하였다. 또한, 안전감독자를 동반해야 하는 특별작업에 대한 특수작업 할증은 작업난이도 인자에서 고려되지 않았지만 원전 해체 과정에서 필요한 요소로 판단되어 포함하였다.

3. 고찰 및 결론

본 연구에서는 국내 원전 해체 상황에 맞는 작업난이도 인자의 개발을 위해 타 산업분야에서 활용되고 있는 표준품셈 품의 할증을 활용하여 기존에 해외 해체 상황에서 사용되었던 작업난이도 인자를 국내 원전 해체 상황에 맞게 개선하였다. 원전 해체에서 사용되어 왔던 작업난이도 인자는 방사선학적 오염 환경에서의 원전 해체를 위해 고려되어야 할 필수불가결한 인자를 대부분 포함하고 있으나 인자들 간에 유사하거나 고려해야 할 인자임에도 고려되지 않은 사항을 일부 내포하고 있었다. 이에 국내에서 널리 활용되고 있는 보다 합리적이고 상세한 체계를 가진 표준품셈의 품의 할증을 도입함으로써 기존의 작업난이도 인자를 국내 상황에 맞게 개선하였으며 그 결과는 위험 할증, 기타 할증, 유해별 할증, 작업시간제한 할증, 휴식시간, 특수작업 할증 총 6가지로 도출할 수 있었다. 본 연구를 통해 개선된 작업난이도 인자는 추후 선정된 항목에 대한 타당성 및 각 할증률에 대한 적합성 평가를 수행하여 향후 신설될 해체사업 관리기관에서 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 논문은 한국에너지기술평가원(KETEP)과 산업통상자원부(No. 20191510301180)로부터 지원받아 수행되었습니다.

참고문헌

1. 원자력안전위원회. 2021. 원자력안전법 제28조.
2. Suk S, Jun B, Park J, Chang H, Jang M and Kim S. 2021. Review of Radiological Source Term Characteristics for Decommissioning of PHWR (CANDU) Nuclear Plant. *J.*

Radiati. Ind. **15**(4):319-327. https://doi.org/10.23042/radin.2021.15.4.319
3. Jeong K-S, Kee D-G, Jung C-H and Lee K-W. 2006. Calculating the Unit Cost Factors for Decommissioning Cost Estimation of the Nuclear Research Reactor. *JNFCWT* **4**(4):385-391.
4. LaGuardia TS. 1986. Guidelines for Producing Commercial Nuclear Power Plant Decommissioning Cost Estimates. AIF/NESP-036. pp. 5.9-5.13 Atomic Industrial Forum, Inc.
5. IAEA. 2017. Data Analysis and Collection for Costing of Research Reactor Decommissioning. IAEA-TECDOC-1832.
6. 한국원자력연구원. 2019. 예비 해체계획서(아라 연구동).
7. 한국정보통신공사협회. 2021. 2021년 정보통신공사 표준품셈 해설서.
8. Park W-S and Jang K-S. 2014. A study on application method of “Result unit cost” to Nuclear Power Plant (NPP) construction cost estimating. *Proc. Korean Inst. Build. Constr. Conf.* **14**(1):46-47.
9. 한국건설기술연구원. 2021. 2021 건설공사 표준품셈.