JESK J Ergon Soc Korea 2017; 36(5): 559-568
http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2017.36.5.559
http://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Managerial Factors Influencing Dose Reduction of the Nozzle Dam Installation and Removal Tasks Inside a Steam Generator Water Chamber

Dhong Ha Lee

Department of Industrial Engineering, The University of Suwon, Suwon, 18323

증기발생기 수실 노즐댐 설치 및 제거작업의 피폭선량 저감에 영향을 주는 관리요인에 관한 연구

이 동 하

수원대학교, 산업공학과

Corresponding Author
Dhong Ha Lee
Department of Industrial Engineering,
The University of Suwon, Suwon, 18323
Mobile : +82-10-5207-9603
Email : dhonghalee@gmail.com

Received : September 06, 2017
Revised : September 18, 2017
Accepted : September 25, 2017

Copyright@2017 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Objective: The aim of this study is to investigate the effective managerial factors influencing dose reduction of the nozzle dam installation and removal tasks ranking within top 3 in viewpoint of average collective dose of nuclear power plant maintenance job.

Background: International Commission on Radiation Protection (ICRP) recommended to reduce unnecessary dose and to minimize the necessary dose on the participants of maintenance job in radiation fields.

Method: Seven sessions of nozzle dam installation and removal task logs yielded a multiple regression model with collective dose as a dependent variable and work time, number of participants, space doses before and after shield as independent variables. From the sessions in which a significant reduction in collective dose occurred, the effective managerial factors were elicited.

Results: Work time was the most important factor contributing to collective dose reduction of nozzle dam installation and removal task. Introduction of new technology in nozzle dam design or maintenance job is the most important factor for work time reduction.

Conclusion: With extended task logs and big data processing technique, the more accurate prediction model illustrating the relationship between collective dose reduction and effective managerial factors would be developed.

Application: The effective managerial factors will be useful to reduce collective dose of decommissioning tasks as well as regular preventive maintenance tasks for a nuclear power plant.

Keywords: Collective dose, Nozzle dam, Installation and removal task, Managerial factor, Decommissioning, Preventive maintenance, Nuclear power plant

1. Introduction

원전의 증기발생기 수실 내 노즐댐 설치 및 제거는 원전 1차측 주요 장비인 증기발생기의 검사 및 유지보수작업 시 원자로의 냉각재 입출력을 차단하기 위해 증기발생기 노즐 부위에 선행되는 작업이다.

노즐댐 시스템은 노즐댐(nozzle dam), 노즐링(nozzle ring), 다이어프램 실(diaphragm seal)로 구성되어 있다. 노즐댐은 지름이 0.4m인 맨웨이를 통과할 수 있도록 중앙 댐 세그먼트와 옆판 댐 세그먼트으로 나뉘어 외부로부터 운반된다. 노즐링은 증기발생기의 노즐입구에 용접되어 있고 노즐댐은 노즐링에 볼트로 체결된다. 다이어프램 실은 분리된 노즐댐 사이의 누수를 방지하는 기능을 한다(Kim et al., 2000).

증기발생기 수실 내부의 노즐링에 노즐댐을 설치하는 작업은 원자로에서 수행되는 유지보수작업 중 압력용기에 물을 채우는 과정에서 증기발생기 수실이 침수되지 않도록 하기 위함이다. 노즐댐과 노즐링 사이의 틈이 생기지 않고 최대한 밀봉을 유지할 수 있도록 밀봉부재를 설치하는 것이 작업의 주 내용이다. 계획된 유지보수작업이 종료되면 노즐댐과 밀봉부재는 다시 제거하여 원상 복구한다.

노즐댐 설치 및 제거작업 시 작업자는 방사선 피폭을 받을 수 있다. 작업자가 받는 방사선 피폭의 종류는 증기발생기에 부착되어 있는 방사성 핵종에서 발생한 방사선에 의한 외부피폭과 작업공간의 공기 중에 부유하는 방사성물질의 체내 흡입에 의한 내부피폭 등으로 나누어진다(Kim et al., 2010).

증기발생기에서 발생하는 피폭선량을 초래하는 방사선의 원천은 대부분 증기발생기 수실 상단의 튜브 다발이며 방사성 핵종으로는 고에너지 투과성 핵종인 58Co과 60Co 핵종이 대부분이라고 알려져 있다(Ocken, 1993; Yoon, 2007).

방사선 피폭선량 측정에는 일반적으로 열형광선량계(Thermoluminescent Dosimeter; TLD)를 사용한다. 2004년 13명의 노즐댐 유지보수작업자로부터 측정된 TLD의 수치는 머리 부위에서 0.73에서 4.25mSv, 등 부위에서 0.65에서 3.68mSv, 그리고 가슴 부위에서 0.48에서 2.96mSv의 측정치를 기록하였다(Table 1). 방사선 작업 종사자들에 대한 유효선량한도는 5년간 100mSv 정도로 제한되어 있다. 원전의 계획예방정비기간에 수행되는 작업 중 발생하는 피폭선량은 전체 피폭선량의 대부분을 차지하며 그 중에서도 증기발생기 수실 내의 노즐댐 설치 및 제거작업은 작업시간이 짧음에도 불구하고 피폭선량이 상대적으로 많아 고피폭선량 작업에 속한다(Kim and Kong, 2009).

Table 1. TLD measurements collected from 13 workers during their nozzle dam maintenance job (mSv) (Kim and Kong, 2009)

	Rrange	Mean	Sd
Head	0.73~4.25	2.019167	0.889171
Back	0.65~3.68	1.925385	0.784755
Chest	0.48~2.96	1.581538	0.629882

국제방사선방호위원회(International Commission on Radiation Protection; ICRP)는 방사선 작업 종사자들에게 가해지는 불필요한 피폭을 줄이고 피폭이 불가피한 경우라도 피폭량을 최소화하도록 권고하고 있다(ICRP, 2007).

노즐댐 설치 및 제거와 같은 고피폭작업에서 피폭량을 최소화하는 방법은 방사선 원천에 대한 처치, 방사선으로부터의 효과적인 차폐, 그리고 작업인원 및 시간(man-hour) 단축을 위한 치밀한 작업 계획을 들 수 있다(Yim and Oken, 2001).

본 연구는 과거의 계획예방정비 작업의 관리이력 자료를 분석하여 노즐댐 설치 및 제거작업의 피폭량에 영향을 주는 관리요인을 찾아내고 그 중에서 피폭량을 저감하는 데 유효한 관리방안을 선별하여 제안하였다.

2. Collective Dose Prediction Model for Nozzle Dam Installation and Removal Tasks

목표선량이란 당해년도 작업 중 작업자가 받을 수 있는 피폭선량의 목표치이다. 목표선량은 전년도 총피폭선량 실적치에 적절한 관리를 통해 개선가능한 선량을 차감하여 결정한다. 목표선량을 결정할 때 두 가지 주요 고려사항은 효율적인 작업관리를 통해 피폭선량을 줄일 수 있는 개선가능선량과 최적의 공간차폐관리, 작업시간관리 및 조직관리 등을 통해서도 더 이상 줄일 수 없는 최소한의 피폭선량 즉 개선불가능선량이다(Figure 1). 개선가능선량은 계획예방정비의 과거 이력자료 중에서 각 시행 차수에 단위작업별로 수행된 각종 효과적인 관리방안과 감소된 총피폭선량과의 상관관계를 분석함으로써 추정할 수 있다. 개선불가능선량은 최선의 관리수단이 동원되어 집행된 해의 피폭선량으로 정의되지만 현실적으로 최선의 관리수단이 동원되었는지의 여부를 판단하기 어렵기 때문에 연구 대상으로 선정된 피폭선량 이력자료 중 최저 피폭실적을 달성한 해의 피폭선량으로부터 간접적으로 추정할 수밖에 없다. 따라서 피폭선량 감소에 기여한 유효한 관리방안은 피폭선량 이력자료 중 총피폭선량이 큰 폭으로 감소한 해에 동원된 관리방안으로부터 추출할 수 있다. 마찬가지 방법으로 총 피폭선량이 큰 폭으로 증가한 해에 동원된 관리방안 분석하면 피폭선량 감소에 별다른 효과가 없는 관리방안도 선별할 수 있을 것이다.

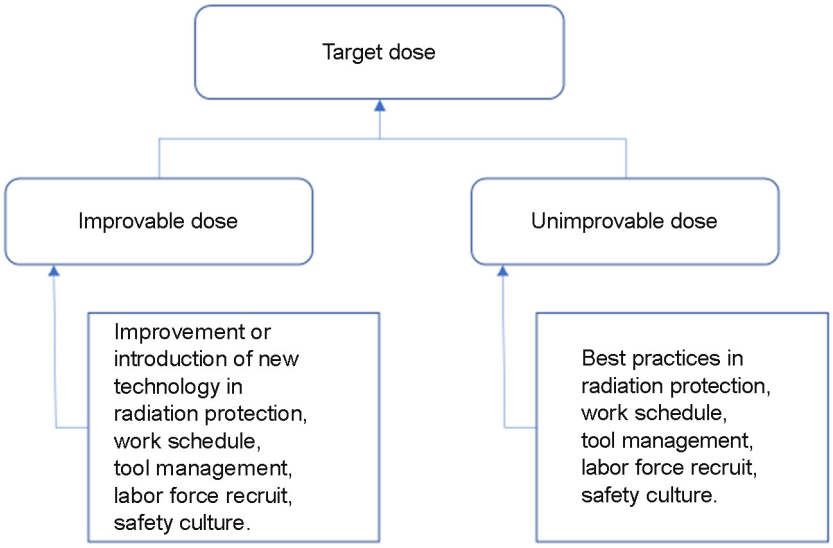

Figure 1. Target dose consisting of improvable and unimprovable dose

본 연구에서는 노즐댐 설치 및 제거작업의 피폭선량(man-mSv)에 영향을 줄 수 있는 작업공간 내의 최대방사선량율(mSv/hr), 작업공간선량율(mSv/hr), 차폐관리 후 작업공간선량율(mSv/hr), 작업시간(min), 작업인원(man)에 대한 다중선형회귀모형을 추정하기 위하여 연속된 7차 년도에서 추출한 계획예방정비작업의 표본 자료를 사용하였다. 계획예방정비작업은 전체 선량의 80%를 차지하는 비중을 가지고 있다(Kim et al., 2013). 상기 측정 변수 중 차폐후공간선량으로부터 차폐관리의 효율성을 판단할 수 있다. 작업시간은 작업관리의 효율성을 판단하는 기준이 되며 작업인원은 조직관리의 효율성을 판단하는 기준이 될 수 있다. 노즐댐 설치 및 제거작업의 피폭선량 추정 모형은 다음과 같다.

노즐댐 설치 및 제거작업의 총피폭선량 = -8.102 X 작업인원 + 2.877 X 작업시간 + 12.576 X 차폐후공간선량율 + 5.807 X 공간선량율 + 4.254 X 최대방사선량율 - 411.533 (1)

식(1)로 표현된 선형회귀모형은 적합도(R^2=0.959)는 높지만 회귀모형 및 각 요인에 대한 계수의 유의성은 낮다(Table 2).

Table 2. Significance probabilities of the prediction model coefficients

Model	Coefficients	Std error	*t*	*p*
Number of participants	-8.102	6.62	-1.224	0.436
Work time	2.877	1.859	1.548	0.365
Workspace dose after shield	12.576	24.018	0.524	0.693
Workspace dose	5.807	4.922	1.18	0.448
Maximum radiation dose	4.254	3.031	1.404	0.394
Constant	-411.533	355.9	-1.156	0.454

총피폭선량을 설명할 수 있는 유의한 모형을 얻기 위해 $p<0.05$인 요인을 모형에 추가하고 $p>0.1$인 요인을 모형에서 배제하는 stepwise 회귀분석 방법을 사용하였다. 결과 모형은 다음과 같다.

노즐댐 설치 및 제거작업의 총피폭량 = 0.610 X 작업시간 + 38.683 ($R^2=0.770$, $p=0.009$) (2)

식(2)의 피폭선량 모형에 따르면 노즐댐 설치 및 제거작업의 총피폭선량은 주로 작업시간에 의해 결정된다. 따라서 노즐댐 설치 및 제거작업의 경우 차폐를 통한 공간선량을 낮추는 관리보다 작업시간 단축을 위한 관리가 우선적으로 중요하다고 할 수 있다.

3. Selection of Managerial Factors Contributing to Improvable Dose

Table 3는 표본 추출된 연속된 7차의 노즐댐 설치 및 제거 예방정비작업 중 총피폭선량에 있어서 직전 차수와 비교하여 향상(reduced dose가 양수인 경우) 또는 퇴보(reduced dose가 음수인 경우)를 보인 예방정비작업 차수를 보인다. 제2차, 제4차, 제6차 작업 중에는 총피폭선량이 오히려 증가했으며 제3차, 제5차 및 제7차 작업에서는 총피폭선량에 있어서 개선이 이루어졌다. 차폐후공간선량의 경우 제3차, 제7차에서 증가하였고 나머지 차수의 작업에서는 개선이 이루어졌다. 작업시간과 작업인원 측면에서는 제4차 작업을 제외하고는 모두 지속적인 개선이 이루어졌다.

Table 3. Improved dose with reduced work time and number of workers

Secession	Reduced dose (man-mSv)	Reduced work space radiation rate after shield (mSv/hr)	Reduced work time (min)	Reduced number of workers (man)
2	-16.72	0.5	83	11
3	167.25	-0.5	149	32
4	-82.79	2	-116	-36
5	10.51	1.6	62	3
6	-19.29	0.1	25	9
7	88.23	-1.2	63	26

제2차부터 제7차에 걸쳐 시행된 피폭선량에 영향을 줄 수 있는 관리요인을 작업관리, 조직관리, 및 공간차폐관리로 분류하면 Table 4-Table 9과 같다.

Table 4. Managerial actions contributing to total dose of nozzle dam installation/removal job (the second session)

Work management	Organization management	Shield management
Recruitment of experienced and skilled workers	Restructuring of labor force teams by function Reinforcement of communication link between teams	Measurement of staying time in chamber and dose for each chamber worker Wearing an in-line hose mask Wearing multiple TLD (head, chest, and hand) with ADR

Table 5. Managerial actions contributing to total dose of nozzle dam installation/removal job (the third session)

Work management	Organization management	Shield management
Increasing the number of training Mockup training in the presence of managerial staff Introduction of a new nozzle dam cover	Setup of each departmental target of dose reduction Safety culture campaign about dose reduction Setting up an active group of radioactive protection Personal protection management by the dedicated staffs	Decontamination around the workplace Accurate measurement of staying time in chamber and dose for each chamber worker Wearing an air supplying insulation clothes Wearing multiple TLD (head, chest, and hand) with ADR

Table 6. Managerial actions contributing to total dose of nozzle dam installation/removal job (the fourth session)

Work management	Organization management	Shield management
No allowance for entry for the workers without mockup training		Limiting the personal staying time to 3min Applying a strict rule on personal protection clothing

Table 7. Managerial actions contributing to total dose of nozzle dam installation/removal job (the fifth session)

Work management	Organization management	Shield management
Increasing the number of mockup training trials (5 times for the novice workers, 3 times for the experienced workers) Recording the training history of each participant	Running a dedicated team for personal protection Triple check for the chamber before the maintenance job from the departments of work, safety, and radiation management Running the experienced substitute workers team for emergency condition	Limiting the staying time in chamber to 3min Applying a strict rule on personal protection clothing

Table 7. Managerial actions contributing to total dose of nozzle dam installation/removal job (the fifth session) (Continued)

Work management	Organization management	Shield management
Preview for the work schedule Reinforcement of communication link among participants with an aid of ongoing status board for work progress Installation of the dedicated lighting for the chamber		

Table 8. Managerial actions contributing to total dose of nozzle dam installation/removal job (the sixth session)

Work management	Organization management	Shield management
Recording the number of mockup training trials Running the ongoing status board for work progress Use of communication equipment for dialog between the main worker and supporters Reserving spare bolts and washers in case of possible bolt hole defects	Running a dedicated team for personal protection	Measurement of staying time and dose for each entry to the chamber Applying a strict rule on personal protection clothing Additional supply for the air supplying full protection clothing

Table 9. Managerial actions contributing to total dose of nozzle dam installation/removal job (the seventh session)

Work management	Organization management	Shield management
Introduction of new technology in nozzle dam equipment Use of communication equipment for dialog between the main worker and supporters Strict check for the nozzle dam equipment before the maintenance job Securing a waiting room for assistant workers	Campaign on spontaneous participation for radiation safety	Improved layout for protection equipment Staying time and dose management for each entry to the chamber Applying a strict rule on personal protection clothing Wearing an air supplying full protection clothing Additional installation of service air for the air supplying full protection clothing

Table 9. Managerial actions contributing to total dose of nozzle dam installation/removal job (the seventh session) (Continued)

Work management	Organization management	Shield management
		Assistant workers wearing a half face mask and a protective clothing made of paper The chamber worker wearing an additional plastic shoe cover

Table 3의 피폭선량 저감량과 Table 4-9의 관리요인을 비교하여 분석하면 제3차(Table 5), 제5차(Table 7), 및 제7차(Table 9) 작업에 동원된 관리요인들이 총피폭선량 저하에 기여하였음을 알 수 있다(Figure 2).

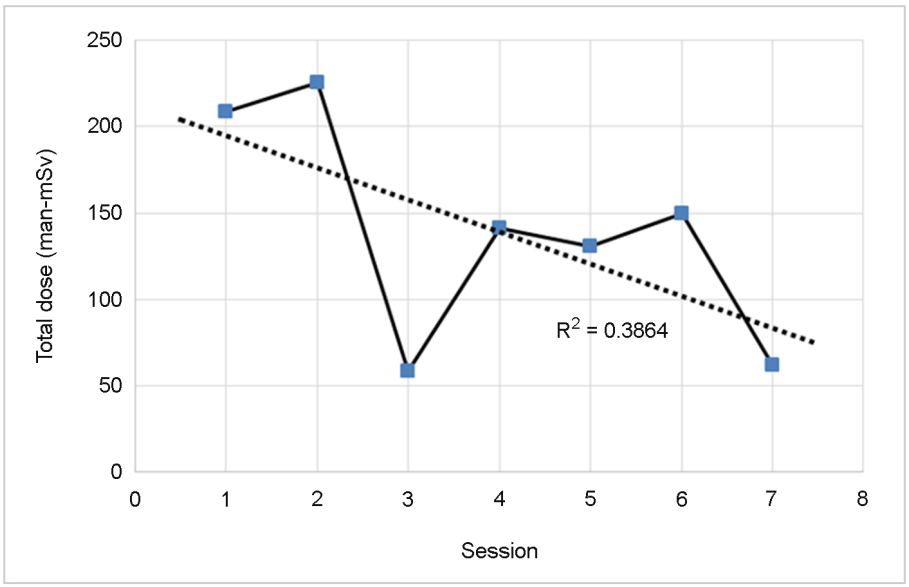

Figure 2. Trend of total dose reduction of the 7 sessions of the tasks

특히 제4차 시기를 제외하고는 전 차수의 예방정비작업에서 작업시간과 작업인원을 감축시킬 수 있었으므로(Table 3) Table 4, Table 5, Table 7, 및 Table 8의 작업관리요인들은 작업시간과 작업인원 단축에 효과적인 역할을 수행했다고 할 수 있다. 특히 제3차 예방정비작업과 제7차예방정비작업 수행으로 인해 작업시간과 작업인원의 감축 효과가 다른 차수에 비해 현저히 크게 나타났는데 이는 노즐댐 커버 사용(Table 4)과 신형 노즐댐 채택(Table 8)과 같은 이전에 시도되지 않았던 신기술 도입의 효과를 입증하는 사례라고 볼 수 있다. 차폐후 공간선량율의 경우에는 시간의 경과에 따라 원자로 및 기타 시설의 노후화 등 원인에 따라 증가하는 공간선량율(Hong and Lee, 2003)에 대응하여 효과적인 차폐관리를 통해 지속적인 개선이 이루어졌음을 알 수 있다(Table 3). 이상의 분석 결과를 통하여 피폭선량 감소에 효과적인 관리요인은 Table 10와 같이 요약할 수 있다.

Table 10. Managerial actions contributing to reduce total dose of nozzle dam installation/removal job

Work management	Organization management	Shield management
Increase in the number of training	Setup of competition among departments to reduce total dose	Decontamination around the workplace
Mockup training in the presence of managerial staff	Triple check for the chamber before the maintenance job from the departments of work, safety, and radiation management	Improved layout for protection equipment
Record for the training history of each participant	Safety culture campaign about dose reduction or spontaneous participation for radiation safety	Accurate measurement of staying time in chamber and dose for each chamber worker
Preview for the work schedule	Running a dedicated team for personal protection or the experienced substitute workers for emergency condition	Wearing multiple TLD (head, chest, and hand) with ADR
Strict check for the nozzle dam equipment before the maintenance job		Strict staying time and dose management for each entry to the chamber
Reinforcement of communication link among participants with an aid of ongoing status board for work progress or communication equipment		Applying a strict rule on personal protection clothing
Introduction of a new nozzle dam cover, new type of nozzle dam, or dedicated lighting for the chamber		Wearing an air supplying insulation clothes
Securing a waiting room for assistant workers		Assistant workers wearing a half face mask and a protective clothing made of paper
		The chamber worker wearing an additional plastic shoe cover

4. Discussion and Conclusion

피폭선량 저감 대책으로 사전에 동일 작업에 대한 모의 훈련을 통해 숙련도를 향상시키는 것이 효과적이다. 원자력의 여러 분야에서 직무 수행시간이 훈련에 큰 영향을 받는 것은 이미 잘 알려져 있다(Jung et al., 2002). 훈련을 통한 학습은 원전의 안전성 확보에 있어서 중추적인 역할을 수행한다(Kim et al., 2014). 반복된 훈련을 통해 향상된 작업 숙련도는 작업시간을 줄이며 이에 따른 피폭선량도 감소하게 된다. 훈련 시 실제 증기발생기 수실과 동일한 형태의 Mockup을 사용하고 실제작업과 동일한 순서로 동일한 작업대상을 사용하는 것은 학습의 전이도(Park, 2006)를 높임으로써 작업시간 감축에 기여한다.

작업팀이 작업수행 전에 작업일정을 검토하고 작업장을 사전 점검하는 등 철저한 사전 준비 행위도 작업시간 단축을 통하여 피폭선량 저감에 기여하였다.

작업장의 작업상황판을 설치하여 작업에 참여하는 모든 사람이 작업진행사항을 공유하도록 하고 수실내에서 작업하는 주작업자와 주변의 보조작업자에게 통신장비를 지급하여 신속한 통신 유대를 유지하게 한 것은 작업 중 발생할 수 있는 실수에 즉각적으로 대응할 수 있게 하는 수단이 되었다. 노즐댐 설치 및 제거작업 중 수실내의 상태가 예상한 것과 달라져서 투입된 작업자가 당황하여 즉각적인 대응을 못함으로 작업이 지연되는 경우가 있다. 신속한 통신 유대는 이런 경우에 유효하다.

노즐댐 설치 및 제거와 같이 고피폭선량의 작업에서 피폭선량을 줄이는 데 결정적인 역할을 수행하는 것은 노즐댐 커버, 신형노즐댐 도입과 같이 신기술을 적용하는 것이다. 신기술은 작업속도를 향상시키는데 도움을 주었을 뿐만 아니라 긍극적으로는 증기발생기 수실 내

에서의 인간의 작업행위를 완전히 대체하는 방향으로까지 진화하고 있다. 노즐댐을 다루기 위한 매니퓰레이터(manipulator)나 로봇의 도입이 그 예가 될 것이다(Kim et al., 1999; 2000).

조직관리 측면에서는 각 관련 부서별 피폭선량 목표량 설정 및 달성을 위한 경쟁체계를 유지하는 것이 도움이 되었다. 노즐댐 작업 수행 전에 각 부서별로 독립적으로 수실내부를 사전 점검토록 하고 각 부서별 사전 대응을 준비하도록 하는 사례가 그 예이다. 피폭선량 저감을 위하여 작업과 관련된 모든 참여자들이 자발적으로 저감 활동에 참여할 수 있도록 정신적 각성을 유발하는 안전문화 캠페인 활동을 펼친 것도 효과가 있다. 피폭관리의 긍극적 대상자인 현장 작업자들이 작업 중 적당한 긴장 수준을 유지하는 것이 작업 중 발생할 수 있는 실수를 예방하고 재작업의 가능성을 줄여 주기 때문이다. 현장 작업자의 차폐복이나 작업도구 지원 등 피폭관리를 전담하는 팀을 별도로 구성하여 현장 작업자가 노즐댐 설치 및 제거작업에만 전념하도록 지원하는 활동도 피폭량 저감에 중요한 역할을 수행하였다. 현장작업자의 작업이 지연되어 허용 피폭시간을 초과할 경우나 그 밖의 예기치 않은 돌발상황 발생시 즉시 대체 투입할 수 있는 동종작업 유경험 예비작업자팀을 운영하는 것 역시 필요하다.

오염원으로부터의 차폐관리 측면에서는 작업장 주변의 폭넓은 제염관리, 정확한 피폭량 계측을 위한 다중 선량계 부착 적용(Kim and Kong, 2009), 보호구 착용에 대한 엄격한 규율의 적용, 공기가 공급되는 충실한 방호복 착용 등이 개인 피폭선량 감소에 효과가 있었다.

원자력 분야에서는 방사선방호 신개념(ICRP-60)이 법제화되고, 방사선관리에 대한 규제가 더욱 강화되었다(Hong and Lee, 2003). 총피폭선량 저감에 효과적인 관리요인을 정확히 선별하는 것은 방사선 안전에 크게 기여할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 피폭선량 저감에 효과적인 관리요인 추출을 위하여 한정된 작업 표본에 의존하였으므로 설명력이 부족할 수 있다. 향후 작업 표본 수를 확대하고 빅데이터 기법을 사용하여 인과관계를 추정한다면 좀 더 정확한 관리요인 모델을 개발할 수 있을 것이다.

References

Hong, D.S. and Lee, G.J., "A Study on the Radiation Exposure Trend at Kori Nuclear Power Plants for the Reduction of Occupational Radiation Dose", *Proceedings of the Fall Conference of Korean Nuclear Society*, 2003.

International Commission on Radiation Protection, *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, ICRP Publication 103, 2007.

Jung, W.D., Park, J.K. and Kim, J.W., Human performance analysis of Emergency Tasks in Nuclear Power Plant, Journal of the Ergonomics Society of Korea, 21(3),13-24, 2002.

Kim, H.G. and Kong, T.Y., An analysis of radiation field characteristics for estimating the extremity dose in nuclear power plants, *Journal of Radiation Protection*, 34(4), 176-183, 2009.

Kim, H.G., Kong, T.Y., Jeong, W.T. and Kim, S.T., An effects of radiation dose assessment for radiation workers and the member of public from main radionuclides at nuclear power plants, *Journal of Radiation Protection*, 35(1), 12-20, 2010.

Kim, J.I., Lee, B.I. and Lim, Y.K., Analysis of a lead vest dose reduction effect for the radiation field at major working places during refueling outage of Korean PWR nuclear power plants, *Journal of Radiation Protection*, 38(4), 237-241, 2013.

Kim, S.H., Jung, S.H. and Kim, C.H., "Preventive Maintenance and Remote Inspection of Nuclear Power Plants Using Tele-robotics", *Proceedings of the 1999 IEEVRSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 603-608, 1999.

Kim, S.H., Jung, S.H. Lee, S.S. and Lee, Y.S., "Nozzle Dam Design Improvement using Composite Material of the Steam Generating Nuclear Power Plants", *Proceedings of the Spring Conference of Korean Nuclear Society*, 2000.

Kim, S.S., Luo, M. and Lee, Y.H., Effects of the training transfer management to the workers in nuclear power plants, Journal of the Ergonomics Society of Korea, 33(1), 49-58, 2014.

Ocken, H., Techniques for controlling radiation exposure. Nuclear News, 43-47, Feb, 1993.

Park, K.S., Ergonomics, the second edition, Youngjimunhwasa, 2006.

Yim, M.S. and Oken, H., Radiation dose management in nuclear power plants, *Progress in Nuclear Energy*, 39(1), 31-51, 2001.

Yoon, Y.H., "Shielding Establishment inside Steam Generator", *Proceedings of Information System on Occupational Exposure*, Asian ALARA Symposium, 2007.

Author listings

Dhong Ha Lee: dhonghalee@gmail.com
Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, KAIST
Position title: Professor, Department of Industrial Engineering, the University of Suwon
Areas of interest: Human Factors in Nuclear Power Plant, Risk Management, System Analysis