

Risk Analysis of Radiographic Testing Companies using Radial Scale Analysis Model

JiYoung Han,¹ Dayoung Gwon,¹ Byeong-soo Kim,² YongMin Kim^{1,*}

¹Department of Radiological Science, Daegu Catholic University

²Korea Institute of Nuclear Safety

Received: October 04, 2018. Revised: November 26, 2018. Accepted: November 30, 2018

ABSTRACT

As the radiation is used in various fields, the number of radiation workers is on the increase and there has been an increase in interest in the radiation worker's safety. In South Korea, it is focusing on securing safety of workers through KISOE system and owner's report. In advance study, We determined that in assessing the risks of securing safety for workers and businesses, the assessment of other items as well as exposure doses would be effective and develops the Radial Scale Analysis Model. So, data from the actual radiographic testing companies were applied to the radial scale analysis model to determine the risks of the actual companies. And, we selected 4 companies to confirm the applicability. Risk assessments of all 56 companies were conducted and improvements and inspections were anticipated for each company's problems. The results of the study are expected to be utilized by radiographic testing companies and regulatory for self-assessment and regulation criteria.

Keywords: Radial Scale Analysis Model, Radiation Worker, Exposure dose, Nondestructive testing(NDT)

I. INTRODUCTION

방사선이 다양한 분야에 사용됨에 따라 방사선작업종사자의 수의 증가와 함께 그에 대한 우려도 높아졌다. 2017년 말 기준 산업, 의료, 연구 등의 방사성동위원소 및 방사선발생장치 이용기관은 총 7,938개이며,^[1] 2015년 말 기준 방사선작업종사자는 43,078명으로 집계되었다.^[2] 2016년 원자력안전연감에 따르면 의료기관, 산업체, 방사선투과검사업체, 연구, 교육, 공공, 군사, 원자력발전소로 구분된 2015년 업종별 방사선작업종사자의 평균 피폭선량 중 전체 평균은 0.60 mSv였으며, 방사선투과검사업체의 평균선량은 1.77 mSv로 가장 높은 수치를 나타냈으며, 같은 해의 업종별 집단선량 또한 방사선투과검사업체가 가장 높았다.^[2]

국내에서는 국가 방사선작업종사자 안전관리 시스템(KISOE, Korea Information System on Occupational Exposure)

을 구축하여 방사선작업종사자의 피폭선량 분석 및 평가를 수행하여 안전규제 활동을 연계하고 관련 항목을 정보화하여 관리하고 있다. 또한, 발주자가 사업장에서 방사선작업종사자가 과도한 방사선에 노출되지 않는 안전한 작업환경을 제공하도록 하기 위해 방사선투과검사를 의뢰한 발주자는 2015년부터 한국원자력안전기술원에 매월 발주자 보고(작업일, 작업시간, 피폭선량, 사용 방사선원, 검사 대상물 등)를 하고 있다.^[3] 또한, 방사선작업종사자의 피폭선량 저감에 대한 연구 및 안전한 방사선 작업장 구축을 위한 연구가 진행되고 있는 상황이다.^[4,5]

선행연구에서 피폭선량 항목의 세분화와 더불어 피폭선량 이외의 항목에 대한 추가적 평가를 통한 업체의 위험성 평가를 통한 안전 확보가 필요하다고 판단하였고, 전문가 자문 및 관계기관과의 협의를 통해 위험성 평가를 위한 인자들을 도출하였다. 인자들의 타당성 및 항목별 가중치 선정을 위해 전

* Corresponding Author: Yongmin Kim

E-mail: ymkim17@cu.ac.kr

Tel: +82-53-850-2522

문자 자문 및 조장 방사선작업종사자를 대상으로 설문조사를 수행하였으며, 이를 바탕으로 5각형, 7각형, 10각형 모델로 구성된 방사형 척도분석 모델(안)을 개발하였다.^[6-11] 이에 본 연구에서는 실제 2016년 방사선투과검사 업체들의 자료를 관계기관으로부터 제공받아 주요인자별 수치를 도출하고 이를 방사형 척도분석 모델에 적용하여 업체의 위험성 분석 및 평가를 수행하고자하였다.

II. MATERIAL AND METHODS

선행연구를 통해 개발된 방사형 척도분석 모델 및 모델별 주요 인자는 각각 Fig. 1과 Table 1에 제시하였다. 모델의 인자들은 종사자 및 업체의 위험성 평가에 활용 가능한 항목들로 작업 환경 예측이 가능한 피폭선량, 사용 선원의 종류, 조당 작업자 수, 시간당 작업량, 안전관리 평가 결과 등으로 구성되어 있다. 방사형 척도분석 모델에서 전체 업체의 평균을 위험성 판단 기준으로 선정하였으며 평균을 초과하는 정도에 따라 항목별 위험성을 판단할 수 있다.

Table 1. Factors by Model

Model	factor
5 Factors	1. Radiation sources 2. Exposure dose 3. Workshop management 4. Workers with personel dosimetry problem 5. Routine inspection present condition
7 Factors	1. Average exposure dose (include the record level*) 2. Average exposure dose (exclude the record level*) 3. Gap with maximum and average dose 4. Collective dose 5. Workers per group 6. Workload per hour 7. Safety management present condition
10 Factors	1. Average exposure dose (include the record level*) 2. Average exposure dose (exclude the record level*) 3. Gap with maximum and average dose 4. Collective dose 5. Workers per group 6. Workload per hour 7. The number of Workers with personel dosimetry problem 8. The number of items that are recommended/pointed out by regulatory body 9. Score for safety management performance 10. The number of delayed report and missing report

* record level \leq 0.1 mSv

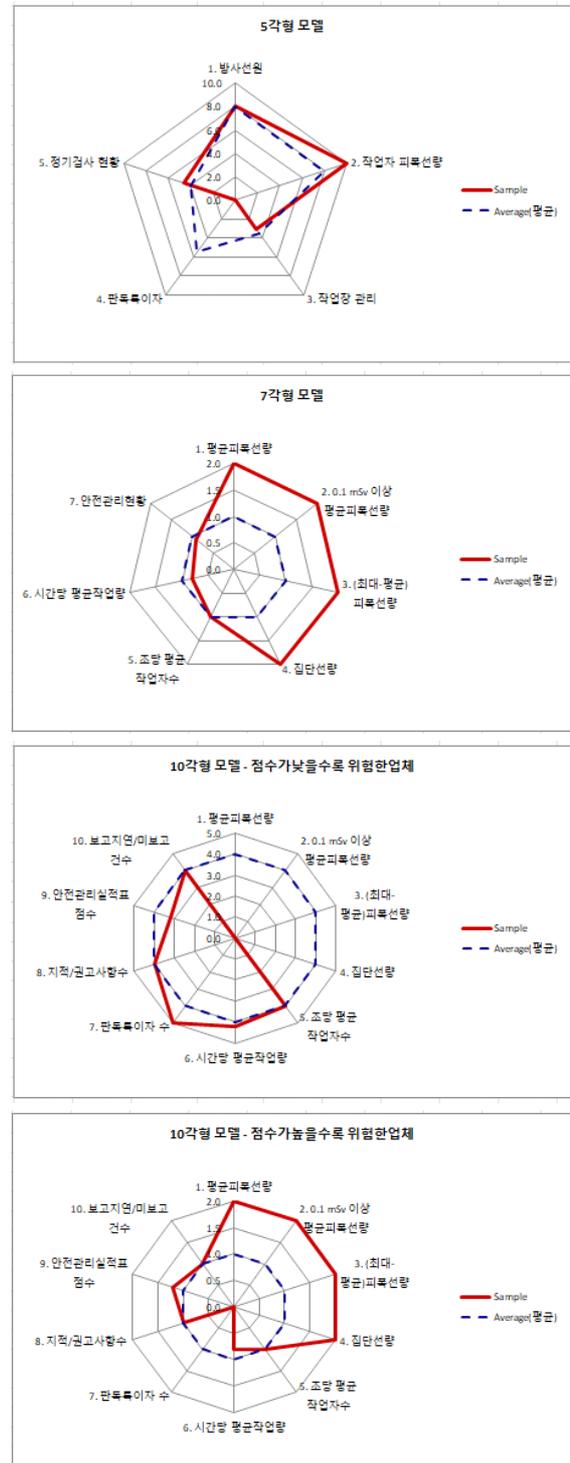


Fig. 1. Radial scale analysis model.

1. Manipulation and Classification for Relevant Data

관계기관으로부터 56개 방사선투과검사 업체의 2016년 관독특이자 자료, 피폭선량 자료, 발주자보고 자료,

안전관리평가 자료를 제공받았다. 참고로, 이 자료들은 개인 정보가 모두 제거된 상태로서 분석 및 평가 목적으로 가공된 자료들이었다. 선행 연구로부터 개발된 각 자료로부터 도출될 인자는 Table 2와 같다.^[9]

Table 2. Derived factors from each data

Items	Related details
Data on Workers with personal dosimetry problem	- Radiation workers exceeded dose limit - Radiation workers who need a follow-up
Data on exposure dose	- Average exposure dose (include the record level*) - Average exposure dose (exclude the record level*) - Gap with maximum and average dose - Collective dose
Data on the scores for radiation safety management	- The number of items that are recommended/pointed out by regulatory body - Score for safety management performance - The number of delayed report and missing report
Data on owner's report	- Radiation sources - Workers per group - Workload per hour

* record level ≤ 0.1 mSv

방사형 척도분석 모델의 각 인자별 수치를 도출하기 위해 제공받은 자료들을 정제 및 분류한 과정은 다음과 같다.

1.1 관독특이자 자료

관독특이자 자료에서 관독특이자가 발생한 업체들을 정리하고 관독특이자의 확정선량과 선량 자료 내 관독특이자 선량의 일치 유무를 확인하고 일치하지 않는 경우 선량 자료를 관독특이자의 확정선량으로 수정하였다.

1.2 피폭선량 자료

피폭선량 자료의 경우 Excel 내 ROUND, AVERAGEIFS, MAXIFS 등의 함수를 사용하여 평균피폭선량, 0.1 mSv 이상 평균피폭선량, (최대-평균)피폭선량, 집단선량의 업체별 수치 및 전체 업체 평균을 도출하였다.

1.3 발주자보고 자료

발주자보고 자료는 일일보고이므로 자료의 수가 많으며, 발주업체에서 직접 입력하여 오기입의 확률이 높았다. 이에 도출될 수치의 신뢰성 확보를 위해 아래의 자료들을 삭제하였다.

- 작업자 수가 기재되어 있지 않은 경우
- 작업량이 기재되어 있지 않은 경우
- 선원과 선원 수량이 부정확하게 기재된 경우
- 작업시간이 부정확하게 기재된 경우 등

이를 통해 총 191,459개의 발주자보고 자료 중 10,942개가 삭제되었다. 또한, 작업 시작 시간과 종료 시간이 동일한 경우 작업시간을 1시간으로 간주하였다. 발주자보고 자료는 Excel 내 COUNTIF, IF 등의 함수를 사용하여 사용 방사선원, 조당 작업자 수, 시간당 작업량의 업체별 수치 및 전체 업체 평균을 도출하였다.

1.4 안전관리평가 자료

안전관리평가 자료에서 지적사항과 권고사항을 합산한 지적/권고 사항 건수, 지연보고와 미보고 건수를 합산한 지연보고/미보고 건수의 평균을 전체 업체들에 대한 평균값으로 구하였고, 안전관리 실적표 점수는 100점 만점으로 104점인 업체는 100점으로 간주하였다. 안전관리평가 자료의 경우 Excel 내의 COUNTIF, COUNTA 함수를 사용하여 지적/권고사항 건수, 보고지연/미보고 건수, 안전관리 실적표 점수의 업체별 수치 및 전체 업체 평균을 도출하였다.

2. Risk Analysis

전체 56개 방사선투과검사 업체 각각의 방사형 척도분석 모델 도출을 위해 업체별 수치를 입력하여 전체 업체의 위험성 평가를 수행하였다. 이후, 해당 모델의 타당성을 확인하고자 일정 기준에 따라 업체 4곳을 선정하였다. 첫 번째로, 해당 업체의 수치 중 평균값을 넘는 항목이 적으며 상대적으로 위험성이 낮은 업체일 것으로 예상되는 안전관리 평가결과 점수가 100점 이상인 업체 4곳 중 무작위로 2곳(A, B 업체)을 선정하였다. 두 번째로는 평균값을 넘는 항목이 상대적으로 많을 것으로 예상되며 해당 업체 방사선작업종사자의 안전이 우려되

는 선량한도 초과피폭자가 발생한 업체들 중 초과 피폭자의 확정 선량이 1 mSv를 초과하는 업체 4곳 중 무작위로 2곳(C, D 업체)을 선정하였다. 안전관리평가 점수가 100점인 A, B 업체의 세부항목별 인자 값은 아래의 Table 3에 제시하였으며 방사형 척도분석 모델에 적용한 결과는 각각 Fig. 2, Fig. 3와 같다. 선량한도 초과피폭자의 확정 선량이 1 mSv를 초과하는 C, D 업체의 세부항목별 인자값은 Table 4에 제시하였으며, 방사형 척도분석 모델에 적용한 결과는 각각 Fig. 4, Fig. 5와 같다.

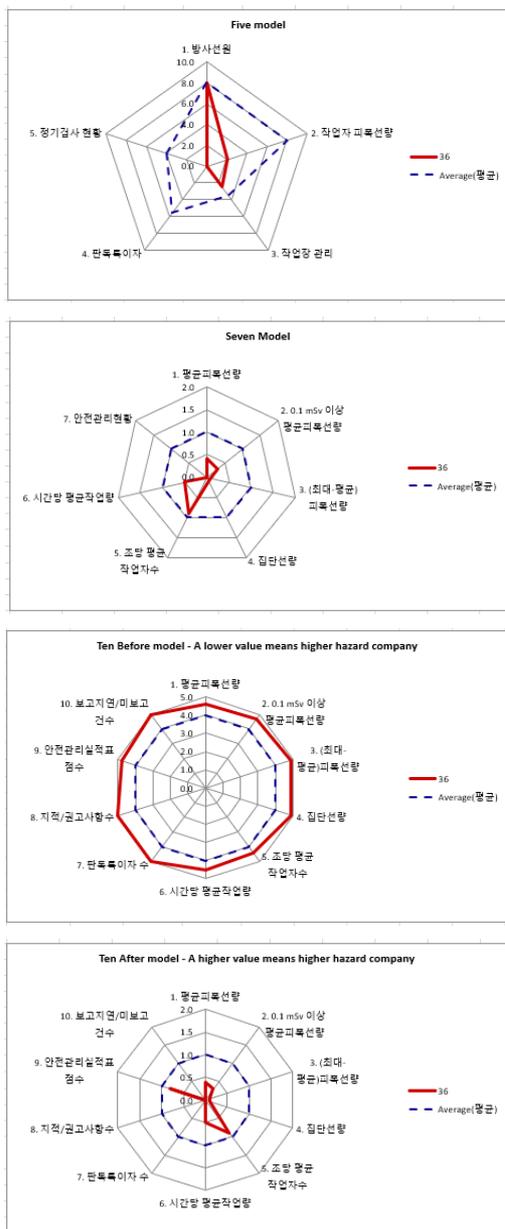


Fig. 2. Radial scale analysis model of A company.

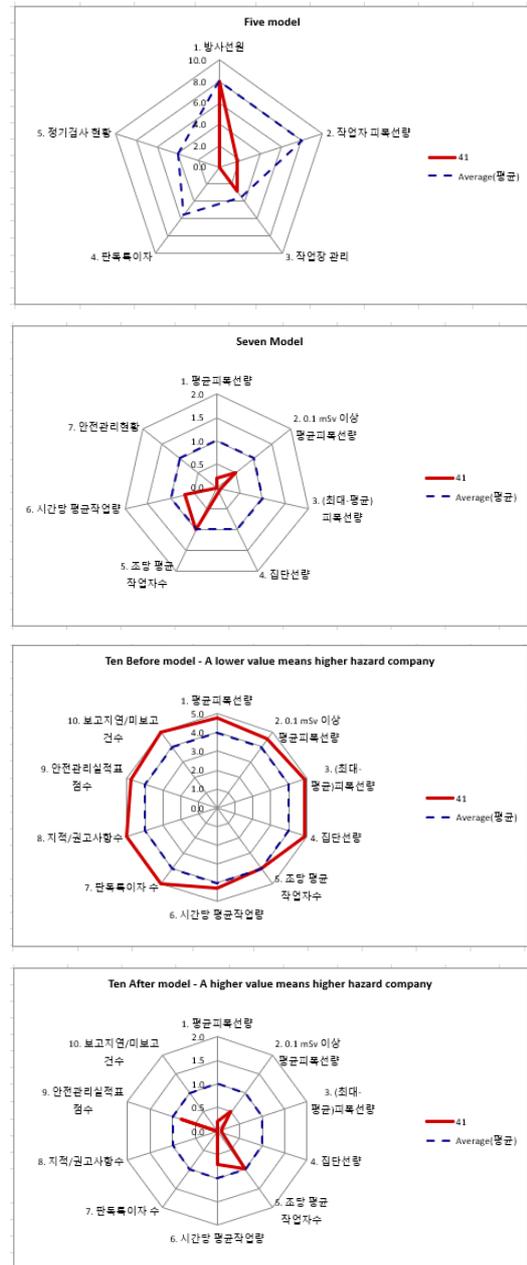
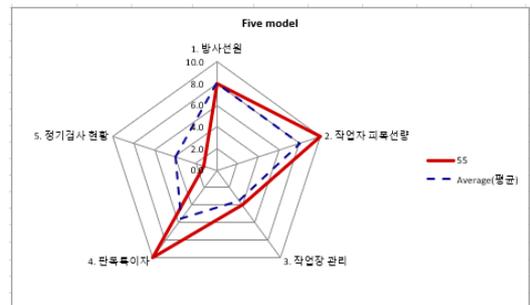


Fig. 3. Radial scale analysis model of B company.



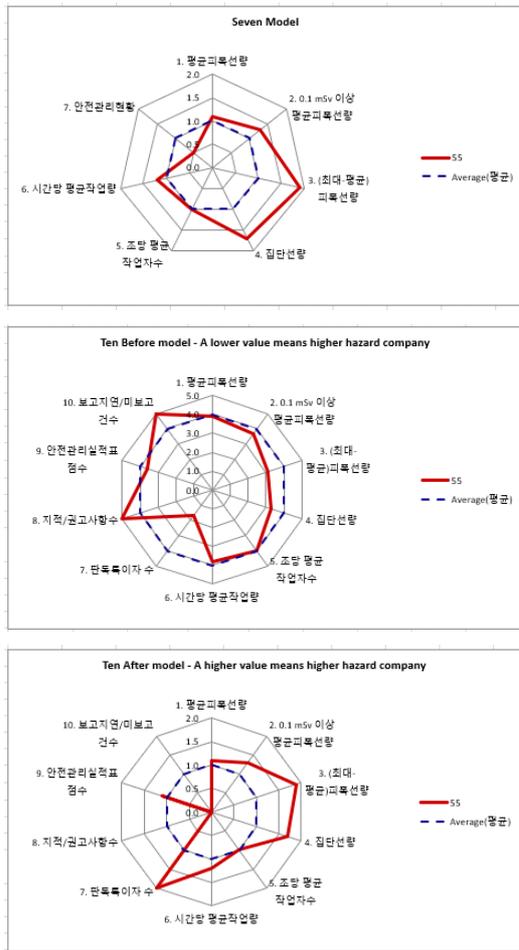


Fig. 4. Radial scale analysis model of C company.

Table 3. Factor value of A, B companies

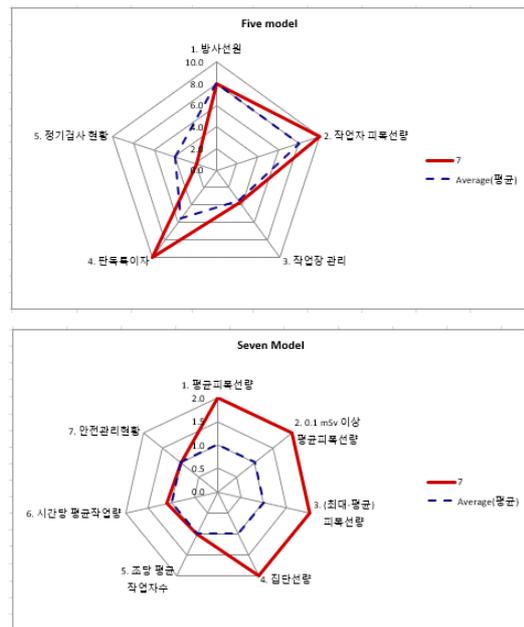
Related details	value		
	A	B	average
Radiation sources	4.0	4.0	4.0
Average exposure dose (include the record level*) [mSv]	0.5	0.2	1.2
Average exposure dose (exclude the record level*) [mSv]	0.7	1.0	2.1
Gap with maximum and average dose [mSv]	4.6	3.1	33.3
Collective dose [person-mSv]	8.7	8.6	161.6
Workers per group	2.6	2.5	2.4
Workload per hour [/hr]	7.6	9.7	14.6
Radiation workers exceeded dose limit [person/company]	0.0	0.0	0.1
Radiation workers who need a follow-up [person/company]	0.0	0.0	0.2
The number of items that are recommended / pointed out by regulatory body	0.0	0.0	0.7
Score for safety management performance	100	100	83.4
Number of delayed report and missing report	0.0	0.0	0.1

* record level ≤ 0.1 mSv

Table 4. Factor value of C, D companies

Related details	value		
	C	D	average
Radiation sources	4.0	4.0	4.0
Average exposure dose (include the record level*) [mSv]	1.3	18.4	1.2
Average exposure dose (exclude the record level*) [mSv]	2.8	22.7	2.1
Gap with maximum and average dose [mSv]	62.6	1,187.5	33.3
Collective dose [person-mSv]	274.0	1,341.8	161.6
Workers per group	2.4	2.3	2.4
Workload per hour [/hr]	18.1	16.2	14.6
Radiation workers exceeded dose limit [person/company]	1.0	1.0	0.1
Radiation workers who need a follow-up [person/company]	0.0	0.0	0.2
The number of items that are recommended / pointed out by regulatory body	0.0	0.0	0.7
Score for safety management performance	79	94	83.4
Number of delayed report and missing report	1.1	1.0	0.1

* record level ≤ 0.1 mSv



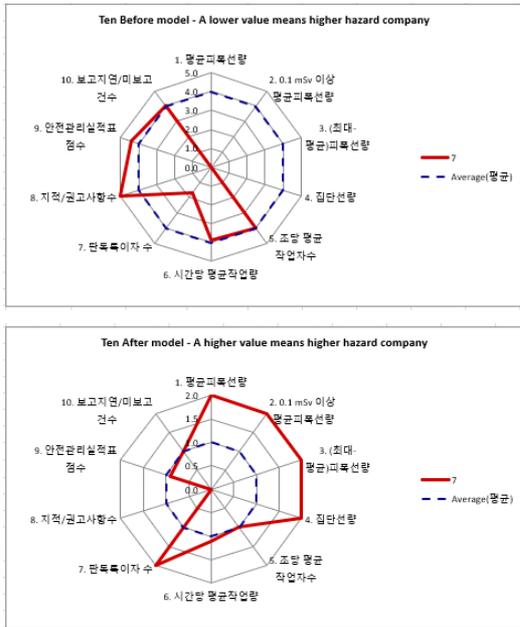


Fig. 5. Radial scale analysis model of D company.

III. RESULT

1. Analysis Result

선정된 업체 4곳의 방사형 척도분석 모델에 적용한 결과를 분석한 결과, A, B 업체 모두 사용선원을 제외한 모든 항목이 기준치 내에 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 사용 선원의 경우 대부분의 현장에서 이리듬을 사용하여 평균이 이리듬이 된 것이므로, 이것이 위험을 나타낸다고는 볼 수 없다. 따라서 A, B 업체의 모델 적용 결과 두 업체 모두 적절한 방호가 이루어지며 비교적 안전한 작업이 수행되는 작업장으로 판단할 수 있을 것으로 예상된다. 반면에 C 업체의 경우 관독특이자가 발생하였고 선량 관련 모든 항목 및 시간당 작업량이 기준값을 초과하였으며 조당 작업자 수가 평균과 동일하게 나타났다. 피폭선량 항목 중 (최대-평균) 피폭선량은 높으나 평균피폭선량은 평균에 근접하여 일부 작업자가 높은 선량을 받으며 대부분의 작업을 수행할 것으로 예상된다. 이에 해당 업체에서는 관독특이자 발생 요인 해결과 함께 작업자 수 보강, 작업 분배 등의 조치가 필요할 것으로 예상되며 관계기관의 정기/수시 검사 시 전반적인 실제 작업환경 및 작업 절차를 확인하여야 할 것으로 예상된다. D 업체의 경우 조당 작업자 수가 평균보다

낮으나 2명 이상으로 우려할 수치는 아니다. 하지만 관독특이자가 발생하였고, 선량 관련 모든 항목이 평균을 초과하여 최대치를 나타내는 것을 바탕으로 대부분의 작업자가 높은 선량을 받으며 작업을 수행하고 있을 것으로 예상된다. D 업체의 경우 관독특이자 발생 요인 해결과 함께 피폭선량 저감을 위한 작업절차 변경 등의 조치가 필요할 것으로 예상되며, 관계기관의 정기/수시 검사 시 전반적인 실제 작업환경 및 작업 절차를 확인하여야 할 것으로 예상된다.

예상했던 것과 동일하게 A, B 업체에 비해 C, D 업체에서 평균을 초과하는 항목의 수가 많았으며, 분석 결과를 바탕으로 정기/수시 검사 시 A, B 업체에 비해 C, D 업체를 상대적으로 엄격한 점검 및 검사가 필요할 것으로 예상된다. 따라서, 앞서 예상한 것과 동일하게 결과가 나타나 방사형 척도분석 모델의 타당성을 확인할 수 있었다.

2. Utilization of Analysis Results

2016년 방사선투과검사 업체들의 정보를 방사형 척도분석 모델에 적용하여 업체별 전반적인 작업환경 및 문제점을 확인하였다. 관계기관에서 이를 활용한 업체 평가를 통해 수시 검사 수행 여부를 판단할 수 있고, 업체별 문제점을 확인하여 정기 또는 수시 검사 시 위험성을 나타내는 항목에 대해 중점적으로 점검할 수 있는 기준으로 활용할 수 있을 것이다. 방사선투과검사 업체에서는 방사선안전 관리자가 해당 업체의 위험성을 나타내는 항목들을 확인하고 타업체와 비교하여 보완 및 개선에 활용할 수 있다. 또한, 이와 관련하여 발생 가능한 위험 또는 사고에 대비할 수 있을 것으로 예상되며 종사자 교육 시 참고할 수 있을 것으로 예상된다. 또한, 평가 결과를 바탕으로 업체의 자체 점검 및 관계기관의 규제 시 업체별 문제점에 따른 개선 및 점검사항을 예측할 수 있었다. 이에 대한 내용은 다음과 같다.

- 관독특이자 발생 업체의 경우 관독특이자의 적법한 조치 및 발생 요인 해결이 요구되며, 재발 방지 대책 및 시행이 요구된다.
- 모델의 피폭선량 관련 항목들이 정상범위 내에

속하나 시간당 작업량 항목의 수치가 평균을 초과한 경우, 종사자의 선량계 착용유무 확인을 고려할 수 있다.

- 0.1 mSv 이상 평균피폭선량 수치가 평균을 초과하는 반면 평균 피폭선량 항목의 값은 정상 범위에 속할 경우 일부 종사자가 대부분의 작업을 수행하고 있는 것으로 예상되기 때문에 작업장 점검 시 작업 분배, 작업자 보강 등의 조치를 취하도록 권고할 수 있다.
- 시간당 평균 작업량 및 조당 평균 작업자 수가 정상범위 내에 속하나 피폭선량 항목들이 평균을 초과하는 경우 현장의 실제 작업 환경 확인 등의 점검이 예상된다.
- 집단 선량과 시간당 작업량이 평균을 초과한 경우 대부분의 작업자가 고강도 작업을 수행하고 있을 것이라 예상되므로 작업자 보강, 작업량 감소 및 배분 등의 조치가 필요할 수 있다.
- 모든 항목이 평균 이내에 존재할 경우 적절한 방호가 이루어지고 있는 업체로 판단할 수 있다.

IV. DISCUSSION

본 연구에서 사용된 방사형 척도분석 모델에서 업체 자료를 바탕으로 한 위험성 평가 시 업체의 정보를 직접 입력하였다. 이로 인해 매년 업체 정보를 확인해야하며, 오기입의 가능성도 존재하였다. 또한 전체 56개 업체 각각의 파일을 모두 생성하여 모델에 적용하였다. 이에 향후 Excel 내 Macro 등을 활용하여 업체 선택 시 자동으로 업체 값이 입력되는 모델을 개발한다면, 앞서 제시된 문제점들이 해결될 수 있을 것으로 예상된다.

V. CONCLUSION

다양한 분야에서 방사선을 사용하고 있으며, 이에 따라 종사자의 수가 증가하고 있는 상황이다. 방사선의 위험성을 고려했을 때, 방사선작업종사자 관리 및 방사선 작업환경의 안전을 확보할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 피폭선량과 함께 종사자 및 작업환경의 안전과 관련성이 높은 항목으로 구성된 방사형 척도분석 모델에 실제 2016년 방사선 투과 검사 업체의 정보를 적용하여 위험성 평가 및

분석을 수행하였다. 또한, 일정 기준에 따라 업체 4 곳을 선정하여 방사형 척도분석 모델의 타당성을 확인하였다. 상대적으로 위험성이 낮을 것으로 예상된 업체는 예상한 것과 같이 대부분의 항목이 평균 내에 존재하여 상대적으로 안전한 업체로 평가되었으며, 관독특이자가 발생하여 위험성이 높을 것으로 예상된 업체 또한 예상한 것과 같이 절반 이상의 항목이 평균을 초과하여 위험성을 나타낸 것을 확인할 수 있었다.

업체별 위험성 분석 결과를 방사선투과검사 업체 및 규제기관에서 자체 평가 및 규제 기준 등으로 활용할 수 있을 것으로 예상된다. 또한, 향후 실제 업체별 자료를 연차별로 수집 및 축적하여 자료를 형성하고 업체 피드백을 통해 업체별 변화 추이 관찰이 이루어진다면 보다 효과적인 방사선작업종사자 안전관리 및 작업장 관리가 이루어질 수 있을 것으로 예상된다. 하지만, 모델에서 평가하지 못한 실제 작업장 환경 또는 이외의 상황에 대한 가능성이 존재하기 때문에 방사형 척도분석 모델만으로 방사선투과검사 업체의 위험성을 정확히 평가하는 것은 어려움이 있다. 따라서, 방사선투과검사 업체 평가를 위한 보조 수단으로 활용하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

Reference

- [1] <http://nsic.nssc.go.kr/statradSAFE/view.do>
- [2] Nuclear Safety and Security Commission, Korea Institute of Nuclear Safety, Korea Institute of Nuclear Nonproliferation and Control, 2016 NUCLEAR SAFETY YEARBOOK, pp. 282-283, 2017.
- [3] Nuclear Safety Act, 2 of Article 59, 2014.
- [4] National Institute of Food & Drug Safety Evaluation, "Study on the occupational radiation exposure in diagnostic radiology for five years(2008~2012)," No.13171Radiation576, 2013.
- [5] Korea Institute of Nuclear Safety, "Information Analysis and Management for Safety Regulation on Radiation Worker," KINS/ER-190, Vol. 1-5, 2010~2014.
- [6] Korea Institute of Nuclear Safety, "Analysis on the Risk Evaluation Model and Feasibility Study on

Model Application of the KISOE System,"
KINS/HR-1461, 2016.

- [7] Y. J. Bae, "Study on the Risk Assessment Method at Workplace of Radiation Facilities according to Occupational Radiation Exposure," Master's Thesis, Daegu Catholic University, 2016.
- [8] Y. J. Bae, S. A. Im, K. H. Jung, B. S. Kim, Y. M. Kim, "Study on the Assessment Method for the Optimization of the Occupational radiation Protection with ISEMIR Rood Map Analysis," The Korean Association for Radiation Protection Autumn Meeting, 2016.
- [9] Korea Institute of Nuclear Safety, "Development of Radiation Risk Index Model Based on Radar Scaling Analysis and Model's Pilot Application on KISOE system," KINS/HR-1546, 2017.
- [10] Y. J. Bae, B. S. Kim, D. Y. Gwon, Y. M. Kim, "Multidimensional Model for Assessing Risks from Occupational Radiation Exposure of Workers," Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 11, No. 7, pp. 555-564, 2017.
- [11] D. Y. Gwon, J. Y. Han, Y. J. Bae, B. S. Kim, Y. M. Kim, "A Study on the Selection of the Main Factors of Radiation Risk Index Model for assessing risk in Nondestructive Test workplace," Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 12, No. 4, pp. 459-566, 2018.

방사형 척도분석 모델을 활용한 방사선투과검사 업체의 위험성 분석

한지영,¹ 권다영,¹ 김병수,² 김용민^{1,*}

¹대구가톨릭대학교 방사선학과

²한국원자력안전기술원

요 약

방사선이 다양한 분야에 사용됨에 따라 방사선작업종사자의 수가 증가하고 있으며, 이에 따라 종사자의 안전에 대한 우려도 높아지고 있다. 국내에서는 KISOE 시스템, 발주자보고 등을 통해 종사자의 안전 확보에 주력하고 있다. 선행연구에서는 종사자 및 업체의 안전 확보를 위한 위험성 평가에 피폭선량과 더불어 이외의 항목에 대한 추가적 평가가 효과적일 것이라고 판단하여 평가를 위한 항목들 및 방사형 척도분석 모델을 개발하였다. 이에 본 연구에서는 2016년 방사선투과검사업체의 자료를 방사형척도분석 모델에 적용하여 실제 업체의 위험성 평가를 수행하였다. 또한 위험성이 낮을 것으로 예상되는 업체 2곳과 위험성이 높을 것으로 예상되는 업체 2곳을 선정하여 위험성 분석을 수행하였다. 분석 결과에서 예상과 동일한 결과를 얻어 모델의 타당성을 확인할 수 있었다. 전체 56개 업체의 위험성 평가가 수행되었고 업체별 문제점에 따른 개선 및 점검사항을 예측하였다. 본 연구 결과를 방사선투과검사업체 및 규제기관에서 자체 평가 및 규제 기준 등으로 활용할 수 있을 것으로 예상된다.

중심단어: 방사형 척도분석 모델, 방사선작업종사자, 피폭선량, 방사선투과검사

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	한지영	대구가톨릭대학교 방사선학과	대학원생
(공동)	권다영	대구가톨릭대학교 방사선학과	대학원생
	김병수	한국원자력안전기술원	연구원
(교신)	김용민	대구가톨릭대학교 방사선학과	교수