

방사선 및 방사성동위원소 근로자 피폭실태 연구

Study in Occupational Exposure to Radiations and Radioactive Isotopes

이두용*, 김광진**, 박희찬***

호원대학교*, 서울벤처정보대학원대학교**, 한성산업의학연구소***

Duyong Lee(220424@hanmail.net)*, Kwangjin Kim(kkg@suv.ac.kr)**,
Heechan Park(zoayo@korea.ac.kr)***

요약

국내 방사선 및 방사성 동위원소 신고사업장 피폭실태를 조사하여 안전보건 관리방안 수립을 위한 기초 자료를 제시한다. 153개 사업장 근로자를 surveymeter로 선량률(작업공간, 작업자위치)을 측정하였고, 27개 사업장은 thermal luminescence dosimeter(TLD)로 개인노출 농도(표층선량, 심부선량)를 측정하였다. Surveymeter에 의한 업종별[소방방재업(n=10), 금융보험업(n=3), 기타사업장(n=140)] 측정결과, 세 군 간에 차이가 있었다($p<0.000$). 소방방재업과 금융보험업의 작업자위치 선량률은 허가사업장 기준인 $10.0 \mu\text{Sv/hr}$ 보다 높았고, 기타업종과 비교하여 109.3배($p<0.000$), 187.5배($p<0.000$) 각각 높게 나타났다. TLD 심부선량 농도[소방방재업(n=10), 기타 사업장(n=17)]는 소방방재업이 기타업종과 비교하여 높게 나타났다($p<0.05$). Surveymeter와 TLD 측정결과 간의 관련성 분석에서는, 작업공간과 작업자위치 선량률($r=0.406$, $p<0.05$), 작업자위치 선량률과 표층선량($r=0.453$, $p<0.05$), 작업자위치 선량률과 심부선량($r=0.553$, $p<0.01$), 표층선량과 심부선량($r=0.927$, $p<0.001$)간에 각각 관련이 있었다. 방사선 및 방사성동위원소 신고 사업장인 소방방재업과 금융보험업은 법적 관리구역 재설정을 통한 허가사업장으로의 전환은 방사선 취급 종사자의 안전보건을 위하여 매우 시급하다.

■ 중심어 : | 방사선 및 방사성 동위원소 신고사업장 | Surveymeter | TLD | 방사선 종사자 안전보건 |

Abstract

This study aims to provide basic data for establishing the safety and health plan by investigating the exposure conditions in the facilities registering business about handling radiations and radioactive isotopes in Korea. dose levels(working space, worker location) of the workers in 153 facilities were measured using surveymeter, and individual exposure concentration[(shallow dose(SD), depth dose(DD)] in 27 facilities using thermal luminescence dosimeter(TLD). In accordance with the measurement results by business type fire fighting prevention business(FFPB, n=10), financial insurance business(FIB, n=3) and other facilities(n=140) using surveymeter, those three business type groups showed difference ($p<0.000$). Dose levels of worker location for FFPB and FIB were significantly higher than $10.0 \mu\text{Sv/hr}$, the allowable standard for radiations and radioactive isotopes, and they were higher 109.3 times($p<0.000$) and 187.5 times($p<0.000$) than those in other facilities. The concentration of TLD[FFPB(n=10), other facility (n=17)] in DD of FFPB was significantly higher than that in other facility($p=0.05$). In accordance with the analysis result on relationship between surveymeter and TLD, the dose on working space and worker location($r=0.406$, $p<0.05$), worker location dose and SD($r=0.453$, $p<0.05$), worker location dose and DD($r=0.553$, $p<0.01$), and SD and DD($r=0.927$, $p<0.001$) had all related each other. It is urgently required to change FFPB and FIB from the facilities requiring registration for handling radiations and radioactive isotopes to the facilities that shall get permission for handling radiations and radioactive isotopes by reestablishing the legal administration area, for safety and health of radiation occupants.

■ keyword : | Facilities Registered for Handling Radiation and Radioactive Isotope | Surveymeter | TLD | Safety and Health of Radiation Occupant |

* 본 논문은 산업안전보건연구원 2007년도 연구비로 수행한 것입니다.

접수번호 : #090428-002

심사완료일 : 2009년 05월 25일

접수일자 : 2009년 04월 28일

교신저자 : 박희찬, e-mail : zoayo@korea.ac.kr

1. 서론

1. 연구의 필요성

방사선 및 방사성동위원소는 의료분야(진단 및 치료) 및 비파괴 검사, 원자력 등의 산업에서 다양하게 활용되어 인간의 생활에 있어 편의와 편리를 제공하고 있어 유용한 것으로 인식되어 왔다. 그러나 방사선 및 방사성동위원소는 양면성을 가지고 있어 적절하게 관리될 때는 유용하게 사용되지만, 관리에 소홀하거나 방심하게 되면 방사선을 취급하는 사람뿐만 아니라 방사선을 이용하는 환자나 보호자들에게 방사선 피폭에 의한 건강에 영향을 미치며 그 정도에 따라 심각한 장애가 발생할 수 있다[1].

방사선 및 방사성동위원소에 의한 인체의 만성효과는 방사선에 노출된 후 수 년 또는 수십 년이 경과한 뒤에 나타나는 대표적 인체장애는 악성종양의 발생이다. 대표적인 악성종양으로는 백혈병, 갑상선암, 피부암, 유방암, 골육종, 다발성 골수종 등이 보고 되고 있다[2-5]. 또한 염색체 돌연변이와 유전자 돌연변이가 다음 세대까지 전달되는 유전적 이상이 있으며 방사선 관련 근로자의 직업적 피폭상태를 개선하지 않으면 근로자들은 물론 전 국민의 잠재적인 방사선 피해가 누적되어 후손에게 좋지 않는 결과를 초래할 수도 있다[6].

2007년 9월 현재, 국내 방사선 및 방사성 동위원소 취급 허가사업장은 1,079개소이었던 반면에 신고사업장은 총 2,299개소로 신고사업장이 허가사업장보다 약 2.1배 이상 많고, 신고사업장 가운데 산업체가 1,551개소(67.4%)로 가장 높은 분포를 차지하고 있다[7][8]. 방사성동위원소 인·허가사업장 총 1,037개소 가운데 신고사업장이 547개소(52.7%), 방사선발생장치 1,447개소 가운데 신고사업장이 1,111 개소(76.7%)로 대부분을 차지하였다. 또한 국내의 방사선작업 종사자수는 2001년도에 16,857명이었으나 2006년도에는 31,250명으로 무려 15,393명(91.3%)이나 증가하였으며, 산업체의 방사성동위원소 등의 인허가 연도별 추이는 1999도에 776개소이었으나 매년 증가하여 2007년도 9월 현재에는 2,262개소로 191.5% 증가하였다[7][8]. 방사선을 취급하는 기관 및 종사자수는 매년 증가하는 추세이고, 방사

선 노출로 인한 종사자의 건강피해의 심각성을 감안하여 국내에서는 3가지의 법[9-11]에 의하여 방사선작업 종사자에 대한 안전보건 관리가 실시되고 있으나 방사성동위원소 취급 작업종사자의 방사능의 누출, 방사선작업관리구역의 화재, 방사선원 분실 등의 사건 수는 1990년부터 2006년도까지 16년 동안 30건이 발생하였다[12]. 따라서 신기술, 신개념의 피폭환경 변화로부터 방사선 종사자들의 건강보호를 위한 안전보건 관리대책은 매우 중요하다.

방사선 및 방사성동위원소 허가사업장에 종사하는 근로자들은 방사선동위원소 및 발생장치의 규제기준, 안전관리 규정, 정기적인 건강진단, 방사선량 측정, 교육실시에 관한 의무, 보건관리의 주체 등이 법에 명시 [7-9][11]되어 있고 방사선 안전보건 관련 자료가 정확히 파악되어 관리되고 있으며[7], 종사자의 피폭실태 및 안전보건 관리에 관한 다양한 연구[1][13-18]들이 보고되어 있다. 그러나 방사선 및 방사성동위원소 신고사업장은 방사선 관련법규에 전혀 명시되어 있지 않으며, 종사자들의 피폭실태나 안전보건 관리 실태에 관한 연구나 자료는 전무한 실정이다.

2. 연구목적

방사선 및 방사성동위원소 신고사업장이 허가사업장보다 많은 분포를 차지하고 있음에도 불구하고 신고사업장을 대상으로 한 연구나 법규상에 안전보건 관리대책이 전혀 없는 상태이므로 산업체 신고사업장의 방사선 피폭실태를 조사하여 방사선 취급 근로자의 안전보건 관리대책 수립을 위한 기초자료를 제공하는데 본 연구의 목적이 있다.

II. 측정 대상 및 방법

1. 측정대상

1.1 Surveymeter 측정대상 선정

방사선 및 방사성동위원소 취급 사업장 근로자의 방사선 피폭실태를 조사하기 위하여 방사선 및 방사성동위원소 산업체 신고사업장 1,551개소의 명단을 파악하

였다. 신고사업장 1,551개소에 본 연구의 취지와 목적이 포함된 surveymeter 측정협조 안내문을 작성하여 2007년 7월부터 8월에 걸쳐 우편으로 발송한 결과, 253개 사업장으로부터 surveymeter 측정에 관한 협조가능 연락을 받았고 응답율은 16.3% 이었다. 발송한 측정협조 공문의 미 응답 사유는 우편반송 168개소, 미 응답 사업장 1,130개소이었다. 253개 사업장 가운데 업종별 분포와 연구 수행 접근성을 고려하여 서울·경기·인천지역에 소재한 153개소를 측정대상으로 선정하였다. 153개소의 방사선원별 분포는 방사선발생장치) 100개소, 방사성동위원소 53개소이었고, 업종별 분포는 전기전자제조 48개소, 금속제품 40개소, 음식료품제조 14개소, 환경서비스업 13개소, 소방방재업 10개소, 통신장비제조 8개소, 기계기구제품, 제약업, 항공운수업이 각각 4개소, 금융보험업, 화학제품제조가 각각 3개소, 지질탐사업 및 섬유제품제조가 각각 1개소이었으며, 방사선원의 용도 분포는 제품검사가 39개소, 시료물질 분석이 33개소, 반도체 기관검사가 30개소, 금속성분 분석이 27개소, 가스농도 측정이 14개소, 도금두께 측정이 4개소, 이온 가속주입이 3개소이었다.

1.2 TLD 측정대상 선정

방사선 취급사업장에 대해 surveymeter에 의한 방사선량을 측정한 153개 사업장 가운데 방사선량이 높았던 소방방재업 10개소(10명)와 방사선량이 낮게 측정되었던 기타 사업장 18개소(18명)를 무작위로 선정한 후, 해당 사업장에 TLD(thermal luminescence dosimeter) 측정에 관한 협조를 구하여 최종적으로 28개소(28명)에 대한 개인피폭 농도 측정대상으로 선정하였다.

2. 측정방법

2.1 Surveymeter에 의한 방사선량을 측정

[그림 1]의 Surveymeter[9117surveymeter, Thermo Eberline ESM, Germany; detection limit(0.01 μSv ~ 9.99 mSv)] 측정장비를 이용하여 교정 유효기간을 점검한 후, 작업공간 및 작업자위치 방사선량을 측정하였다. 작업공간 선량률 측정은 선행연구에서 제시한 측정방법[18]을 사용하여 작업장 한가운데 지점의 지상

1m 높이에서 20초간 측정을 하였으며, 작업자위치 선량률은 작업자 상주 위치 20초간 측정을 하였다. Surveymeter는 방사선 피폭선량을 아날로그나 디지털 형태로 현장에서 즉시 읽을 수 있으며 작업자의 피폭선량을 즉각적으로 통제할 목적으로 사용되며, 방사선량 수준의 평가는 국내기준에 외부방사선량이 1주당 400 $\mu\text{Sv/hr}$, 일일 작업시간기준으로 순간적인 외부방출선량은 시간당 10 $\mu\text{Sv/hr}$ 로 정하고 있어[9], 이 기준을 초과하면 방사선 및 방사성동위원소 허가사업장이 됨을 참고 하였다. 그러나 surveymeter로 측정된 방사선량은 작업자의 피폭선량에 대한 대표성이 없고 screening 용도로 사용하기 때문에, 법률상 방사선 측정도구로 인정하지 않은 단점이 있다. Surveymeter 측정은 2007년 9월 10일~11월 15일까지 방사선 전문가가 측정하였다.

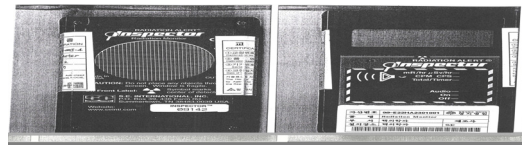


그림 1. Surveymeter

2.2 TLD에 의한 개인피폭 농도 측정

개인선량계인 TLD는 작업자의 피폭선량에 대한 대표성을 가장 잘 표현한 것이며 현재 법적으로 인정하는 선량계는 TLD, 필름배지[9] 등이다. [그림 2]의 TLD[Panasonic UD-716 AGL TLD, Chiyoda Technol, Japan; detection limit(0.01 mSv~10 Sv)] 로 개인피폭 농도를 측정하기 위하여 연구대상에게 측정취지와 목적을 설명한 후 작업이 이루어지는 동안 TLD를 착용하여 줄 것을 당부하였다. 2007년 11월 17일부터 12월 24일까지 방사선 전문가가 측정을 실시하였으나 피 측정자의 인식부족으로 대조군 1명의 TLD 측정 장비가 서랍에 방치되어 있어 27개의 TLD를 회수하여 판독 전문업체인 (주)서울방사선에 분석을 의뢰하였다. TLD를 측정하여 판독하게 되면 두 종류의 측정지표 값 즉, 인체의 피부 표면아래 0.07 mm 깊이에서의 선량이 측정되는 표층선량 농도와 인체의 몸통 표면아래 10 mm 깊이에서의 선량이 측정되는 심부선량 농도를 얻을

수 있다. TLD 판독원리는 방사선 에너지가 TLD의 TL(thermal luminescence) 물질에 흡수되어 포집 누적되며, TL물질을 가열하면 포집된 에너지가 빛(가시광선)의 형태로 방출되는데 이것을 광전자 증배관(photo multi tube)등을 이용하여 그 개수를 세고 열형광 선량계 판독기(TLD reader)에 내장된 교정계수(Calibration factor)와 알고리즘(Algorithm)을 이용하여 TLD에 흡수된 에너지를 인체가 받은 방사선 피폭량으로 환산하여 측정된다.



그림 2. Panasonic UD-716 AGL TLD 선량계 system

3. 자료처리 및 분석방법

방사선 및 방사성동위원소 취급사업장 취급근로자의 피폭실태를 조사하기 위하여 153개 사업장을 대상으로 surveymeter에 의한 작업공간 및 작업자 위치 선량률을 측정하였고, 27개 사업장을 대상으로 TLD를 이용하여 개인피폭 농도(표층선량, 심부선량)를 측정하여 자료 분석에 사용하였다.

첫째, 153명의 surveymeter 측정결과는 업종별로 구분하여 작업 공간 및 작업자위치 선량률 분포의 평균과 표준편차로 제시하였으며, 업종별 선량률 평균 차이비교는 일원배치분산분석(ANOVA-test)으로 분석하였다. 둘째, 153명의 surveymeter 측정결과는 방사선원별로 방사선발생장치와 방사성동위원소로 구분하여 작업 공간 및 작업자위치 선량률 분포의 평균과 표준편차로 제시하였으며, 방사선원별 선량률 평균차이 비교는 student t-test로 분석하였다. 셋째, 153명의 surveymeter에 작업공간 및 작업자위치 선량률 분포는 주요 업종별[소방방재업(n=10), 금융보험업(n=3), 기타 업종(n=140)]로 구분하여 평균 및 표준편차로 제시하였고, 세 군 간의 평균차이는 일원배치분산분석(ANOVA-test)으로 비교 한 후 이 결과에 관한 사후검증

(Turkey exact test)을 실시하였다. 넷째, 방사선에 개인피폭 농도를 측정하고자 TLD를 이용하여 소방방재업 10개소(n=10)와 기타 사업장 17개소(n=17)로 구분하여 표층선량과 심부선량을 측정하여 평균을 제시하였으며, 두군 간의 평균차이 비교는 student t-test로 분석하였다. 다섯째, 27명을 대상으로 surveymeter에 의한 작업공간 및 작업자위치 방사선량률과 TLD에 의한 표층선량과 심부선량 개인피폭 농도 측정결과 간의 상관 분석을 실시하여 네 종류 지표간의 관련성을 제시하였다. 수집된 자료의 모든 분석은 SPSS(Statistical Package for the Social Science) program 12.0(Spss inc., Chicago, USA)을 이용하였으며, 유의수준은 $p < 0.05$ 에서 검증을 실시하였다.

III. 연구 결과

1. Surveymeter 방사선량률 측정결과

1.1 방사선 및 방사성동위원소의 업종별 방사선량률 분포

방사선 및 방사성동위원소를 취급하는 신고사업장 153개소를 대상으로 surveymeter를 이용하여 업종별 작업공간 및 작업자위치 방사선량률 분포를 측정하였다[표 1]. 작업공간 방사선량률 평균에서는 금융보험업이 1.71 $\mu\text{Sv/hr}$ 로 가장 높았으며, 그 다음으로는 소방방재업 0.77 $\mu\text{Sv/hr}$ 로 높게 나타났으며, 이들 두 업종의 결과는 타 업종(지질탐사업, 섬유제품제조 제외)과 비교하여 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.001$). 또한 작업자 위치 방사선량률 평균에서는 금융보험업이 63.70 $\mu\text{Sv/hr}$ 로 가장 높았으며, 그 다음으로는 소방방재업 37.16 $\mu\text{Sv/hr}$ 로 높게 나타났으며, 이들 두 업종의 결과 역시 타 업종(지질탐사업, 섬유제품제조 제외)과 비교하여 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.001$).

1.2 방사선 및 방사성동위원소의 방사선원별 방사선량률 분포

방사선 및 방사성동위원소를 취급하는 신고사업장 153개소를 대상으로 surveymeter로 작업공간 및 작업

자위치 방사선량률 분포를 방사선원별(방사선발생장치, 방사성동위원소)로 측정하여 두군 간을 비교하였다 [표 2]. 작업자위치 선량률의 경우, 방사성동위원소 평균은 방사선발생장치보다 높았으며, 두군 간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.01$). 반면에 작업 공간 선량률에서는 두군 간에 차이가 없었다.

1.3 방사선 및 방사성동위원소의 주요 업종별 평균 방사선량률 비교

방사선 및 방사성동위원소를 취급하는 신고사업장 153개소를 소방방재업 10개, 금융보험업 3개, 기타업종 140개로 하여 주요 업종별 작업공간 및 작업자위치 방사선량률에 대하여 세군 간의 차이를 비교하였다[표 3]. 작업공간 방사선량률은 세군 간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.000$). 작업자위치 방사선량률의 경우도 세군 간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다 ($p<0.000$).

2. 방사선 및 방사성동위원소의 TLD 표준선량과 심부선량 분포

소방방재업 10개소(10명)와 기타 사업장 17개소(17명)의 방사선 개인피폭 농도를 측정하고자 TLD로 표준선량과 심부선량을 측정하여 두 군 간의 차이를 비교하였다[표 4]. 소방방재업과 기타업종의 심부선량을 분석한 결과, 소방방재업이 기타 업종보다 높았으며 두군 간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.05$). 반면에, 표준선량에서는 두군 간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

3. 방사선 및 방사성동위원소의 Surveymeter 및 TLD 측정지표 간의 관련성

27명을 surveymeter로 측정한 작업공간 및 작업자위치 선량률, TLD로 측정한 표준선량, 심부선량 지표 간의 관련성을 분석하였다[표 5]. 작업공간과 작업자위치 선량률($r=0.406$, $p<0.05$), 작업자위치 선량률과 표준선량($r=0.453$, $p<0.05$), 작업자위치 선량률과 심부선량($r=0.553$, $p<0.01$), 표준선량과 심부선량($r=0.927$

($p<0.001$) 간에 각각 관련이 있는 것으로 나타났다.

표 1. Surveymeter에 의한 업종별 방사선량률 분포

| 업종 | 사업장수 | 평균±표준편차(최소값-최대값) | |
|--------------------|------|-------------------------|----------------------------|
| | | 작업공간 선량률(μSv/hr) | 작업자위치 선량률(μSv/hr) |
| 금속제품 | 40 | 0.12±0.06(0.02-0.25)*** | 0.20±0.17(0.09-1.18)*** |
| 금융보험업 | 3 | 1.71±2.16(0.12-4.76)** | 63.70±48.40(5.27-123.8)*** |
| 기계기구제품 | 4 | 0.16±0.05(0.09-0.23)*** | 0.81±1.12(0.13-2.74)*** |
| 소방방재업 | 10 | 0.77±0.88(0.17-2.50)** | 37.16±24.96(6.8-102.6)*** |
| 음식료품 | 14 | 0.16±0.09(0.07-0.41)*** | 0.18±0.045(0.12-0.28)*** |
| 전기전자 | 48 | 0.19±0.15(0.06-1.14)*** | 0.25±0.045(0.07-3.25)*** |
| 제약업 | 4 | 0.15±0.05(0.07-0.19)*** | 0.15±0.04(0.11-0.21)*** |
| 통신장비 | 8 | 0.16±0.06(0.07-0.24)*** | 0.16±0.045(0.12-0.24)*** |
| 항공운송업 | 4 | 0.18±0.03(0.14-0.23)*** | 0.23±0.026(0.24-0.26)*** |
| 화학제품 | 3 | 0.10±0.03(0.07-0.14)*** | 0.61±0.58(0.15-1.42)*** |
| 환경서비스업 | 13 | 0.09±0.05(0.07-0.22)*** | 0.11±0.037(0.11-0.26)*** |
| 지질탐사업 [‡] | 1 | | 123.8 |
| 섬유제품 | 1 | 0.08 | 0.21 |

[‡] 방사선 취급자 1명의 측정결과.
p(0.01), *p(0.001 by ANOVA-test.

표 2. Surveymeter의 방사선원별 방사선량률 분포[†]

| 방사선원 | 측정건수(건) | 평균±표준편차(최소값-최대값) | |
|---------|---------|----------------------|----------------------------|
| | | 작업공간 선량률(μSv/hr) | 작업자위치 선량률(μSv/hr) |
| 방사선발생장치 | 100 | 0.16±0.12(0.06-1.14) | 0.24±0.42(0.07-3.25)** |
| 방사성동위원소 | 53 | 0.34±0.76(0.02-7.76) | 11.07±24.95(0.09-123.80)** |

[†] Student-t-test.
**p(0.01).

표 3. Surveymeter 주요 업종 별 방사선량률 비교[†]:

| 방사선량률 | 평균±표준편차(최소값-최대값)(μSv/hr) | | | p-value |
|-------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------|
| | 소방방재업(n=10) | 금융보험업(n=3) | 기타업종(n=140) | |
| 작업공간 | 0.77±0.92 (0.17-2.50)** | 1.71±2.65 (0.12-4.76)** | 0.23±0.47 (0.02-1.14)*** | 0.000 |
| 작업자위치 | 37.16±26.32 (6.80-102.63)*** | 63.74±59.27 (5.27-123.77)*** | 0.34±1.35 (0.07-15.54)*** | 0.000 |

[†] ANOVA-test.
p(0.01), *p(0.001 by tukey exact test.

표 4. TLD의 표준선량과 심부선량 분포[†]

| 변수 | 항목 | 근로자수 | 표준선량(mSv) [‡] | 심부선량(mSv) ^{‡‡} |
|----|-------|------|------------------------|-------------------------|
| | | | 평균(최소값-최대값) | 평균(최소값-최대값) |
| 업종 | 소방방재업 | 10 | 0.036 (0.010-0.591) | 0.055 (0.010-0.890)* |
| | 기타업종 | 17 | 0.022 (0.010-0.070) | 0.016 (0.010-0.060)* |

[†] Student-t-test: * p(0.05).
[‡] 인체의 피부 표면아래 0.07 mm 깊이에서의 선량.
^{‡‡} 인체의 몸통 표면아래 10 mm 깊이에서의 선량.

표 5. Surveymeter와 TLD 측정값 간의 관련성[†]

| 변수 | 상관계수 | | | |
|-------------|------------|-------------|----------|----------|
| | 작업공간 선량 | 작업자 위치선량 | 표층선량 | 심부선 량 |
| 작업공간 선량 | 1 | | | |
| 작업자위치 선량 | 0.406* | 1 | | |
| 표층선량 | 0.147 | 0.453* | 1 | |
| 심부선량 | 0.215 | 0.553** | 0.927*** | 1 |

[†] Pearson correlation: *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.01.

IV. 고찰 및 결론

방사선을 이용할 때에는 인체가 적은 영향을 받도록 최소한의 방사선량을 조사하여 최대의 이익을 얻도록 하여야 하며 환자 및 방사선작업 종사자의 방사선 피폭으로 인한 피해를 방지하고 방사선 이용의 적정을 기하기 위한 방사선 관리규정, 정확한 피폭실태 및 예측량 평가, 안전보건 관리실태 파악, 건강보호 대책 등과 같은 안전보건 관리대책은 매우 중요한 문제이다. 국제암 연구소[International Agency for Research on Cancer]에서는 의료기관 및 제조업과 같은 저 선량의 방사선에 장기간 노출되는 방사선작업종사자들에 대한 개인피폭 선량의 측정과 관리는 매우 중요하다고 보고하고 있다 [19].

본 연구는 국내 방사선 및 방사성동위원소 신고사업장의 종사자의 방사선 피폭실태를 파악하기 위하여 153개 사업장을 대상으로 surveymeter를 이용하여 작업공간 및 작업자위치 방사선량률을 측정하였고, 27개 사업장을 대상으로 TLD를 이용하여 표층선량과 심부선량의 개인피폭 농도를 측정하여 취급 종사자의 안전보건 관리방안을 마련을 위한 기초자료를 제시하기 위하여 수행되었다. 첫째, 방사선 및 방사성동위원소 산업체 신고사업장의 방사선 취급근로자 153명을 대상으로 전문가가 surveymeter를 이용하여 작업공간 및 작업자위치에서 선량률을 측정된 결과, 작업자위치 방사선량률 분포의 경우 방사선 및 방사성동위원소 허가사업장[9]에 해당하는 10.0 μSv/hr 이상이 12건(소방방재업 9건, 금융보험업 2건, 지질탐사업 1건)이나 되는 것으로 나타

났다. 업종별 분포에서는 지질탐사업 1개사업장을 측정 한 결과로 제한점은 있으나 123.8 μSv/hr로 가장 높았으며 금융보험업(n=3)은 63.70 μSv/hr, 소방방재업(n=10)은 37.16 μSv/hr로 기타업종의 0.376 μSv/hr보다 높은 결과로 나타났다. 또한 작업공간 및 작업자위치 방사선률 측정결과를 주요 업종별[소방방재업(n=10), 금융보험업(n=3), 기타업종(n=140)]로 나누어 평균을 비교한 결과, 세 군 간에 차이가 있었으며, 작업자 위치의 평균 방사선량의 경우 기타업종과 비교하여 소방방재업과 금융보험업은 109.3배, 187.5배가 각각 높은 것으로 나타났다. 소방방재업은 작업 시 밀봉선원인 코발트 60의 차폐체(납) 분해와 조립을 수작업으로 하는 과정에서 취급 근로자가 방사선에 관한 전문지식과 위기의식이 없는 상태에서 방사선에 노출되고 있었고, 선원을 사무실 한쪽에 보관하는 등 관리를 소홀히 하고 있었다. 주 작업은 화재진압을 위한 소방 설비장치 가운데 액화가스인 하론 및 CO₂ 가스를 사용하여 초기 화재진압을 위한 소화장치인 액화가스의 잔량을 측정하고 있었다. 이 장치는 방호지역에 설치하여 화재 시 호스를 소화 대상물까지 끌어당겨 직접 방사하여 화재를 진압하는 장비이며, 소화약제가 가스이므로 소화력이 우수하며, 소화 후 잔여물이 남지 않아서 많이 사용하고 있었다. 액화가스 잔량측정은 액화가스 잔량측정기로 이루어지고 있었으며, 액화가스 잔량측정기의 밀봉선원은 평상시 납으로 둘러싸인 차폐체 내에 보관되어 있으나 작업 준비 시 수동조립으로 측정기에 장착시킨 후 방호대책 없이 측정을 수행하고 있어 고농도의 방사선에 노출되고 있었다. 2006년 12월 현재 한국소방안전협회 가입업체가 전국 283개소[20]이고 이들 중 상당수가 액화가스 잔량측정기를 보유하고 있음을 고려할 때 근로자의 방사선 피폭대책이 시급하며, 향후 이 결과에 원인에 대한 정밀조사의 필요성이 있다. 금융보험업도 화재보험 가입업체의 소방시설의 점검을 위하여 소방방재업과 같은 장치를 이용하고 있었다. 반면에 기타 사업장은 두 사업장과 비교하여 비교적 안전하게 밀봉된 선원을 사용하고 있었으며, 방사선원 및 방사성동위원소 자체에 차폐체가 설치되어 있었다. 방사선 안전보건 관리는 방사선을 취급하는 사람은 누구나 관심을 가

지고 있으나, 방사선에 관한 지식부족 또는 취급 시 자기 과신 및 방사선 위해에 대한 과소평가로 주의를 소홀히 하여 필요이상의 방사선을 피폭 받는 경우 등 체계적인 관리가 되지 못하는 경우도 있다[2]. 소방방재업과 금융보험업에서 측정된 결과는 현행 방사선 및 방사성동위원소 허가사업장으로 해당[9]되므로 방사선 안전보건 관리에 관한 법적관리구역의 재설정 및 관리체계 검토 필요성을 의미하는 결과이다.

둘째, surveymeter에 의한 방사선원별(방사선발생장치, 방사성동위원소)의 작업공간 및 작업자위치 선량률 비교에서는 방사성동위원소의 작업자위치 선량률이 11.07 $\mu\text{Sv/hr}$ 로 방사선발생장치보다 약 46배 가 높은 것으로 나타났는데, 지질탐사업, 금융보험업, 소방방재업에서 사용하고 있는 방사선원의 종류가 모두 방사성동위원소이었기 때문에 이와 같은 결과를 보인 것으로 판단되며 방사성동위원소 사업장 근로자에 대한 개인 피폭농도 평가의 필요성을 시사하였다. 현행 국내 의료법[13]의 의료기관은 신고기관으로 되어 있는데 방사성동위원소를 사용할 경우 허가기관으로 분류하고 있는 바 이 결과는 향후 방사선 및 방사성동위원소 산업체 신고사업장의 신고 및 허가사업장 분류의 타당성 검토 시 현재 사용하고 있는 방사선원 종류가 하나의 중요한 판단근거가 될 수 있다.

셋째, surveymeter 측정결과에서 높게 측정되었던 소방방재업 10개 사업장과 상대적으로 낮게 측정되었던 기타업종을 17개 사업장을 선정하여 TLD를 이용하여 개인피폭 농도인 표층선량과 심부선량을 측정하여 평가하였다. 인체의 몸통 표면아래 10mm를 측정하는 소방방재업의 개인피폭 심부선량은 55 $\mu\text{Sv/hr}$ 로 기타 업종과 비교하여 약 2.3배 높게 측정되었으며 두군 간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 반면에 인체의 피부 표면아래 0.07mm를 측정하는 소방방재업의 개인피폭 표층선량 결과는 방사선 및 방사성동위원소 허가사업장에 해당되는 36 $\mu\text{Sv/hr}$ 로 나타났으나 기타 사업장과 비교하여 차이가 없었다. 그러나 약 한달 간의 TLD 개인 피폭농도 평가에서는 본 연구의 목적이나 취지에 관하여 이해부족으로 기타 사업장 근로자 1명이 서랍에 TLD를 방치하는 등 대부분의 근로자가 TLD 측정을 회피

하는 경향이 있었다. 향후 충분한 연구 기간을 두고 연구목적에 근로자에게 충분히 인지한 상태에서 방사선 취급 근로자에 대한 TLD를 이용한 개인피폭농도 평가에 관한 후속연구가 필요하다.

넷째, surveymeter에 의한 작업공간 및 작업자위치 선량률과 TLD에 의한 개인피폭 농도인 표층선량과 심부선량 간의 상관관계를 분석한 결과, 작업공간선량과 작업자위치 선량, 작업장위치 선량과 표층선량, 작업장위치 선량과 심부선량, 표층선량과 심부선량 간에 각각 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났으며 모든 결과는 통계적으로 유의하였다. Surveymeter에 의한 측정결과가 방사선 종사자의 screening용 용도로 사용된다고 할지라도 surveymeter 및 TLD에 의한 방사선 측정 지표 간에 양의 상관관계가 나타났으므로 소방방재업, 금융보험업 등 일부사업장의 경우 방사선 및 방사성동위원소 허가사업장으로서의 법적관리구역의 검토를 위한 충분한 기초자료라고 판단된다. 또한 방사선 인체영향을 평가하기 위해서는 전체 피폭량이 산출되어야 하지만 방사선 및 방사성동위원소 산업체 신고사업장의 피폭실태 측정결과에 따른 방사선의 시간당 피폭수준이 현행 방사선 근로자의 안전보건 관련법규 신고사업장의 요건을 갖추었는지의 정도를 판단할 수 있는 자료로 활용할 수 있다.

이상의 결과를 미루어 볼 때, 일부 방사선 및 방사성 산업체 신고사업장의 경우 방사선 노출의 안전보건 관리에 문제가 많다는 것을 알 수 있으며 소방방재업, 금융보험업, 지질탐사업 등 일부사업장은 현행 방사선 및 방사성동위원소 신고사업장에서 허가사업장으로의 법적관리구역의 재검토는 방사선 취급 종사자의 안전보건 관리를 위하여 매우 시급하다.

본 연구의 의의는 방사선 및 방사성동위원소 사업장에 관한 선행연구에서는 주로 허가 사업장을 대상으로 수행되었으나 급변 연구에서는 국내에서 최초로 방사선 및 방사성동위원소 산업체 신고사업장 근로자의 피폭실태를 조사하였고, 방사선 전문가가 직접 현장을 방문하여 surveymeter에 의한 방사선량률을 측정하였고, TLD에 의한 개인피폭농도를 측정하여 방사선 피폭관리 실태나 안전보건관리의 문제점을 통한 일부 사업장

의 법적관리구역의 재설정 검토에 필요한 기초자료를 제안하였다는데 있다.

본 연구의 대상인 방사선 및 방사성동위원소 신고사업장 총 2,299개소 가운데 1,113개소(48.41%), 신고사업장 산업체 총 1,551개소 가운데 761개소(49.1%)가 서울·경기·인천지역의 수도권에 분포되어 있어[7] 지역분포와 연구의 접근성과 수행 편의를 위하여 연구대상 표본을 선정하였으나 일부지역 근로자들을 대상으로 수행한 결과이므로 방사선 및 방사성동위원소 산업체 신고사업장의 전체 실태를 반영하였다고 보기에는 연구의 제한점이 있다. 또한 27개 사업장을 대상으로 TLD 개인피폭농도를 측정한 결과는 근로자가 본 연구의 취지를 정확히 이해하고 측정에 협조를 하였는가는 순응도의 제한점이 존재한다.

향후 방사선 및 방사성동위원소 산업체 신고사업장의 안전보건 실태를 정확히 파악하기 위해 모집단을 대표할 수 있는 연구대상의 선정이 중요하며, 특히 방사성동위원소 방사선원을 취급하고 있는 지질탐사업, 소방방재업, 금융보험업 등의 방사선취급 근로자 전수를 대상으로 TLD를 이용한 정확한 개인피폭농도 평가를 위한 후속 연구는 반드시 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 김병우, "원전사고 결말에 있어 환경의 영향", 성균관대학교 논문집(자연계), 제45권, 제2호, pp.105-123, 1994.
- [2] V. Lope, B. Perez-Gomez, N. Aragonés, G. Lopez-Abente, P. Gustavsson, B. Floderus, M. Dosemeci, A. Silva, and M. Pollan, "Occupational exposure to ionizing radiation and electromagnetic fields in relation to the risk of thyroid cancer in Sweden," *Scand J Work Environ Health*, Vol.32, No.4, pp.276-284, 2006.
- [3] A. J. Sigurdson, M. M. Doody, R. S. Rao, D. M. Freedman, B. H. Alexander, M. Hauptmann, A. K. Mohan, S. Yoshinaga, D. A. Hill, R. Tarone, K. Mabuchi, E. Ron, and M. S. Linet, "Cancer incidence in the US radiologic technologists health study 1983-1998," *Cancer*, Vol.97, No.12, pp.3080-3089, 2003.
- [4] W. N. Sont, J. M. Zielinski, J. P. Ashmore, H. Jiang, D. Krewski, M. E. Fair, P. R. Band, and E. G. Letourneau, "First analysis of cancer incidence and occupational radiation exposure based on the National Dose Registry of Canada," *Am J Epidemiol*, Vol.153, No.4, pp.309-318, 2001.
- [5] A. C. Upton, "The dose response relation in radiation induced cancer," *Cancer Res*, Vol.21, No.6, pp.717-729, 1961.
- [6] W. L. Russell, "Studies in mammalian radiation genetics," *Nucleonics*, Vol.23, No.1, pp.53-56, 1962.
- [7] <http://rais.kins.re.kr/>
- [8] 교육과학기술부, 2007년도 원자력 백서, 2008.
- [9] 교육과학기술부, 원자력법, 2007.
- [10] 노동부, 산업안전보건법, 2007.
- [11] 보건복지가족부, 의료법, 2007.
- [12] 한국원자력안전기술원, 방사선안전사고, 2006.
- [13] 이창항, "미국의 원자력법령 체계", 법학논문집 제25권, 제2호, pp.107-135, 2001.
- [14] 김유현, 최종학, 김성수, 오유환, 이창엽, 조평곤, 강대현, 이영배, 김형철, "진단방사선 검사에서 환자피폭선량에 관한 연구", 대한방사선기술과학, 제28권, 제3호, pp.241-248, 2005.
- [15] 김정구, 정홍량, "방사선사의 지역별 피폭선량에 관한 연구", 한국콘텐츠학회논문지, 제5권, 제5호, pp.281-286, 2005.
- [16] 정주환, 임연수, 박규남, 김영민, 최세민, 이미진, 오주석, 오영민, 홍태용, "응급센터에 근무하는 의사의 방사선 피폭에 관한 연구", 대한응급의학회지, 제19권, 제1호, pp.125-130, 2008.

- [17] 한국산업안전공단 산업안전보건연구원, 방사선작업종사자 건강관리 실태조사, 2006.
- [18] 한국수력원자력, 원자력발전소 주변 환경방사선조사보고서, 한국수력원자력 안전기술처 환경팀, 2007.
- [19] http://www.who.int/ionizing_radiation/research/iarc/en/
- [20] <http://www.kfsa.or.kr/>

저 자 소 개

이 두 용(Duyong Lee)

정회원



- 2002.년 2월 : 한국기술교육대학교 대학원졸업(공학석사)
- 2009년 2월 : 서울벤처정보대학원대학교박사과정수료(유비쿼터스시스템학과)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 호원대학교국방과학기술대학 교수

<관심분야> : 콘텐츠응용(법규), 과학기술정보콘텐츠

김 광 진(Kwangjin Kim)

정회원



- 1985년 2월 : 한양대학교대학원 환경공학전공(공학석사)
- 1988년 9월 : 삼환기업건설기술연구소 환경연구실 선임연구원
- 2006년 1월 : 호서대학교대학원 졸업 대기·폐기물전공(공학박사)

▪ 2006년 3월 ~ 현재 : 호서대학교벤처전문대학원환경보건학과 교수

▪ 2007년 9월 ~ 현재 : 서울벤처정보대학원대학교유비쿼터스시스템학과교수

<관심분야> : 콘텐츠응용(보건), 과학기술정보콘텐츠

박 희 찬(Heechan Park)

정회원



- 1997년 4월 : 일본 국립정신신경센터 Visitting Professor
- 1998년 4월 : 일본 동경노동재해병원 중독센터 선임연구원
- 2002년 3월 : 일본 동경대학 의학부 대학원 사회의학전공 공

중 위생학교실졸업(의학박사)

▪ 2007년 3월 : 고려대학교 의과대학 예방 의학교실/보건대학원조교수

▪ 2008년 4월 ~ 현재 : 한성산업의학연구소 수석연구원

<관심분야> : 콘텐츠응용(보건), 콘텐츠공학(방송 및 전파와 관련된 건강영향)