

<원저>

스마트칩 카드용 이용한 광 자극 발광 특성 연구

박상원^{1),3)}·유세종²⁾¹⁾한림대학교 의료원 춘천성심병원 영상의학과·²⁾대전보건대학교 방사선과³⁾과학기술연합대학원대학교 방사성증양의과학과

A Study on Retrospective of External Radiation Exposure Dose by Optically Stimulated Luminescence of Smart Chip Card

Sang-Won Park^{1),3)}·Se-Jong Yoo²⁾¹⁾Department of Radiology, Chuncheon Sacred Heart Hospital, Hallym University Medical Center²⁾Department of Radiological Technology, Daejeon Health Institute of Technology³⁾Department of Radiological & Medico-Oncological Sciences, University of Science and Technology

Abstract Radiation is used for various purposes such as cancer therapy, research of industrial and drugs. However, in case of radiation accidents such as terrorism, collapsing nuclear plant by natural disasters like Fukushima in 2011, very high radiation does expose to human and could lead to death. For this reason, many people are concerning about radiation exposures. Therefore, assessment and research of retrospective radiation dose to human by various path is an necessary task to be continuously developed. Radiation exposure for workers in radiation fields can be generally measured using a personal exposure dosimeter such as TLD, OSLD. However, general people can't be measured radiation doses when they are exposed to radiation. And even if radiation fields workers, when they do not in possession personal dosimeter, they also can't be measured exposure dose immediately. In this study, we conduct retrospective research on reconstruction of dose after exposure by using smart chip card of personal items through Optically Stimulated Luminescence (OSL). The OSL signal of smart chip card shows linear response from 0.06 Gy to 15 Gy and results of fading rate 45 %, 48% for 24 and 48 hours due to the natural emission of radiation in sample, respectively. The minimum detectable limit (MDD) was 0.38 mGy. This values are expected to use as correction values for reconstruction of exposure dose.

Key Words : Smart Chip Card, Radiation Dose, Dosimeter, Optically Stimulated Luminescence, Dose Reconstruction

중심 단어 : 스마트칩 카드, 방사선량, 선량계, 광 자극 발광, 선량회복

I. 서 론

방사선은 의료, 산업, 연구, 원자력 시설 등에서 환자의 진단 및 치료, 식품 조사, 방사성 의약품 개발, 계측 장비의 교정 등 다양한 목적으로 이용되고 있다. 다양한 유용성에도 불구하고, 방사선은 예기치 못한 사고 혹은 악의적인 목

적의 방사선 테러 발생 시 생명을 위협할 정도의 대용량 피폭을 발생시킬 수 있다[1]. 또한, 자외선과 같은 자연방사선, 의료방사선 등 소량의 방사선 피폭의 인체 노출로 인하여 유전자 변이, 변성 유전자 생성 등의 방사선 만성질환(chronic disease)의 결과를 유발할 수 있다. 이와 같은 이유로 방사선의 위험성에 대한 사회적 우려는 커지고 있다

This paper was supported by Development and optimization of a technology for retrospective dosimetry using thermoluminescence and optically stimulated luminescence for radiation safety regulation in 2018.

Corresponding author: Se-Jong Yoo, Department of Radiology Technology, Daejeon Health Institute of Technology, 21, Chungjeong-ro, Dong-gu, Daejeon, Republic of Korea, 34504 / Tel: +82-42-670-9173 / E-mail: yysj016@hanmail.net

Received 10 October 2019; Revised 21 October 2019; Accepted 24 October 2019

Copyright ©2019 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

(Table 1, 2)[2].

Table 1. Symptoms of exposure dose in clinical field

Does (mSv)	symptom of clinical
250 ~ 1,000	Leukocyte reduce (500 mSv)
3,000 ~ 6,000	Sterility (testis)
2,500 ~ 6,000	Sterility (ovary)

Table 2. Radiation exposure in living. Exposure to radiation absorbed by the human body is not higher than exposure to artificial radiation. For this reason, the radiation dose used for diagnosis and treatment is excluded from the does calculated.

Radiation exposure in living	Exposure dose (mSv)
X-ray exam (Chest)	0,05 - 0,1
Computed Tomography (Brain)	1 - 2
Computed Tomography (Chest)	5 - 10
Computed Tomography (Abdomen)	5 - 7

다양한 환경에서 방사선 피폭에 빈번하게 노출되어 있음에도 불구하고 개인피폭선량계(TLD, OSLD)를 이용하여 선량을 측정할 수 있는 방사선 작업종사자들을 제외한 일반인들의 즉각적이고 주기적인 피폭선량 측정은 어렵다[3]. 신속하게 이뤄지는 개인 피폭선량 측정은 방사선 피폭 환자의 치료방법 및 약물 투여의 즉각적인 결정을 도와 치료 효과를 높이고 사고 후 대책 마련에도 기여할 수 있으며, 사후 대비 대책 대비에도 효과적으로 일조할 수 있다[4]. 이러한 이유로 최근 국내·외로 방사선 피폭에 의한 인체 흡수선량 측정 및 평가, 피폭 방사선량 복원의 중요도가 높아졌으며, 이에 관한 연구 또한 증가하고 있다.

방사선량 측정 및 복원 연구에 사용될 수 있는 물질로는 결정구조로 이뤄져 고유의 전자 띠(band)를 가지고 있는 이산화규소(SiO₂)가 이용될 수 있다. 외부 방사선 자극으로 인하여 내부 전자의 트랩(Trap) 간 이동 후 외부 자극 요인(열 혹은 빛)에 따라 열 자극 발광(Thermo-luminescence, TL) 및 광 자극 발광(Optical Stimulated Luminescence, OSL)이라 부른다[5]. 이 때 방출되는 빛의 양을 측정함으로써 조사된 방사선량을 측정 및 평가할 수 있다(Fig. 1)[6].

본 연구에서는 일상생활에서 자주 사용하는 물품 중 SiO₂를 주로 함유한 신용카드, 신분증, 사원증 등의 내부에 존재하는 스마트 칩 카드의 광 자극 발광(OSL) 특성을 일어나는 시료 후면의 자외선 경화 에폭시 레진(UV epoxy resin)을 물리적으로 추출하여 피폭방사선량 측정 및 복원 연구를 진행하였다.

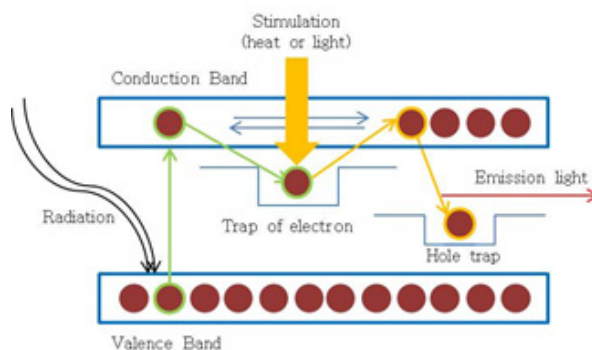


Fig. 1. Schematic of TL and OSL mechanism.

II. 대상 및 방법

1. 시료 및 실험 준비

실험에 사용된 스마트 칩 카드는 신용카드, 전자여권, 신분증 등에 실제 사용되는 시료로써, LG전자에서 생산된 스마트 칩 카드를 사용하였다(Fig. 2). 칩 카드 전면부의 도금된 필름은 물질 구조상 특정한 물성을 가지고 있지 않아 방사선 조사 후 광 자극 발광(OSL) 기법을 적용하더라도 내부 전자의 활성화 및 발광현상이 일어나지 방사선 측정이 어렵다

이에 광 자극 발광(OSL) 특성이 활발하게 일어나는 시료 후면의 자외선 경화 에폭시 레진(UV epoxy resin)을 물리적으로 추출하여 실험하였다.



Fig. 2. Smart chip card used in public. (a) Smart chip cards are embedded in mobile phone, credit card, etc. in public. It has some characteristics that easy to extract in case of radiation accident to measurement radiation dose and simple preparation process to experiment. (b) The uv epoxy resin of back side of smart chip cards reacts to radiation dose and light. Thus it can be used to measurement of radiation dose and reconstruction of radiation.

2. 실험 방법

방사선 조사 후 광 자극 발광(OSL)기법을 통한 피폭선량 측정 및 복원 진행을 위해 시료 수집 및 실험의 전 과정에서 빛 노출 최소화가 필수적이다. 이에 모든 실험 과정은 암실에서 진행하였다[7]. 다양한 조사선량 구간에서의 방사선 반응도 관찰을 위해 총 9개의 조사 구간(0.06, 0.12, 0.3, 0.7, 1, 2, 5, 10, 15 Gy)을 나누어 방사선 조사를 시행하였다. 반복 측정에 따른 감도 보정을 위해 각 조사 구간 사이마다 표준 선량 50 mGy를 조사하여 각 선량 구간마다 나타나는 방사선 반응도를 표준화하였다[8]. 시료 내에서 일어날 수 있는 방사선 자연 감쇠를 고려하여 조사 후 1, 24, 48 시간마다 측정하여 감쇠를 평가하였다. 시료 간 나타날 수 있는 오차 적용을 위해 10개 시료에 대해 배경선량을 측정하였으며, 조사 및 선량평가 후 동일 시료를 재사용하여 시료의 반복사용 가능성을 확인하였다.

3. 측정

방사선조사 및 광 자극 발광(OSL)기법을 통한 피폭선량 측정은 Bialkali EMI 9235 QA PMT가 장착된 Risoe TL / OSL-DA-20 TL/OSL 판독기를 사용하였다[9]. 실제 TLD, OSLD와 같은 개인피폭선량을 조사 및 측정할 수 있는 장비로써 장치 내부에 내장된 150 MBq ⁹⁰Sr/⁹⁰Y선원과 470 nm Blue LEDs를 조사 및 측정을 진행하였다(Fig. 3)[10].

광 자극 발광(OSL) 측정은 40 초 및 160 초 Blue LED를 90 % 광도로 설정하여 수행되었으며, 총 250개 데이터를 수집하였다. 데이터 분석을 위해 40 초 광 조사는 0-6 초 및 34-40 초 구간, 160 초 광 조사는 0-24 초 및 136-160 초 구간을 각각 선량 반응 신호 및 배경신호로 간주하여 적분 후 분석에 적용하였다.



Fig. 3. Radiation dose measurements reader (Risoe TL/OSL-DA-20 TL / OSL). After irradiation, the dose of radiation to sample are measured by this reader using built-in blue light source.

III. 결 과

1. 시료 안정성 평가

같은 종류 시료 10개에 대한 배경선량을 측정하였다(Fig. 4). 가장 큰 배경선량을 기준으로 평균과 표준편차를 이용한 표준화 결과, 1 ± 0.01 의 값으로 동일 종류 내 다른 시료라 하더라도 실제 실험 사용 시 값의 차이가 크게 나타나지 않음을 확인할 수 있다.

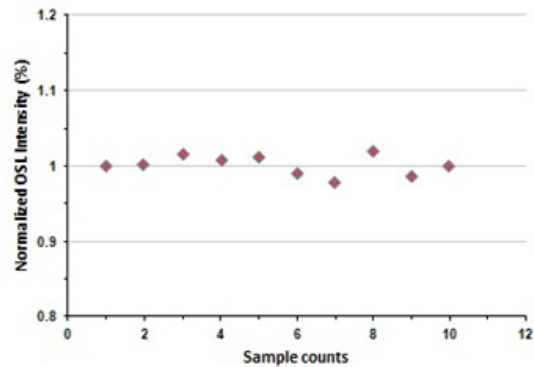


Fig. 4. The result of normalization of samples back-ground dose. It shows only 1% error between the samples and it will not affect the test results even if several samples of the same kind are used.

2. 선량 반응도 평가

9개의 조사선량 구간마다 나타나는 선량 반응도를 나타냈다(Fig. 5). 방사선 조사 후 40 초 및 160 초 광 조사를 통한 방사선 검출 반응도는 0.06 - 15 Gy의 선량구간에서 일정한 선형성을 나타내며, 방사선 반응에 대해 안정적으로 나타났다. 또한, 최저 선량(zero-dose)와 최소검출하한치 (Minimum Detectable Dose, MDD)는 각각 18.08 mGy, 35 mGy로 나타났다(Eq. 1, 2).

$$\left[\left(\frac{a}{b}\right) \times x\right] / n \quad (\text{Eq. 1})$$

[a = back-ground dose, b = after irradiation of initial minimal dose,
x = initial dose, n = sample counts]

$$(\sigma x)^3 \quad (\text{Eq. 2})$$

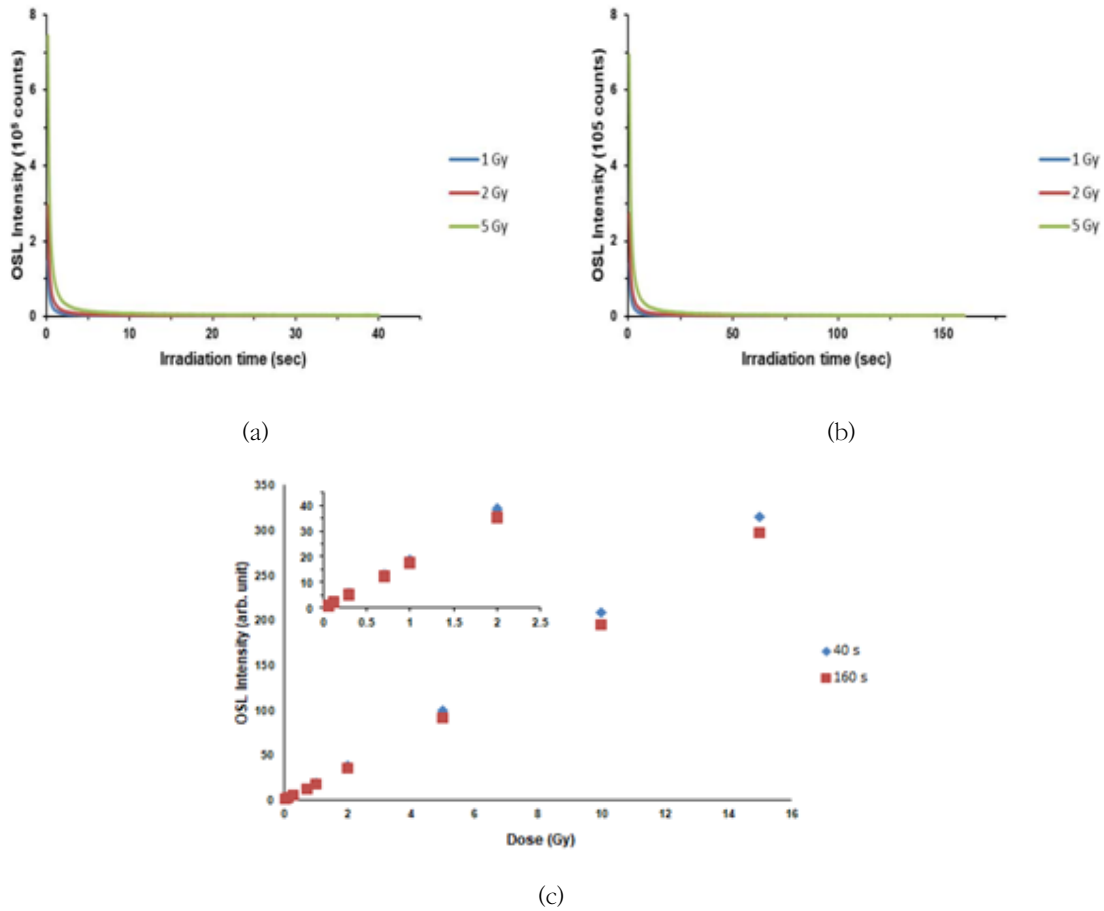


Fig. 5. The result of response of smart chip card after irradiation for 40 s and 160 s to measurement radiation dose by using blue light. (a) and (b) are show the results of data obtained by stimulating blue light for 40 s and 160 s after irradiate to smart chip card for 1 Gy, 2 Gy, and 5 Gy dose, respectively. Both graphs are consists of 250 data points. In other words, one dose response point per 0.16 and 0.64 s for 40 s and 160 s stimulating time, respectively. The figure shows that decreases as an exponential function as a whole. The longer light time to excite electrons in traps induces the emission of the radiation amount signal continues, the less the cumulative dose remaining in the sample. Figure (c) shows the results of 0 to 6 s and 34 to 40 s (figure (a), for 40 s blue light stimulation), 0 to 24 s and 134 to 160 s (figure (b), for 160 s blue light stimulation), respectively. The linearity of each dose (0.06 - 15 Gy) interval is shown, and linearity of the radiation reactivity of the samples used in this study was verified.

3. 반복사용을 통한 시료 재사용 평가

방사선 조사 후 광 자극 발광(OSL)기법을 통한 방사선량 측정 및 평가 실시 후 동일 시료에 대해 동일 선량 조사 후 나타나는 결과를 나타냈다(Fig. 6). 선량 반응도 평가와 같이 40초 및 160초 광 조사를 통해 방사선량 측정 결과 재사용 여부는 큰 영향 없이 초기 측정값과 일정한 반응도를 나타냈다.

다만, 40초 광 조사를 통한 방사선량 반복 측정 시 160초 광 조사를 통한 방사선량 판독 값보다 높은 초기 값이 나타났다. 이는 시료 내에 누적된 피폭 방사선량의 값으로 간주되며, 이는 광 자극 발광(OSL) 판독 시간이 다소 부족하여

나타난 결과로 생각된다.

4. 감쇠율 평가

1 Gy 방사선 조사 후 시간 경과에 따라 나타나는 시료 내 방사선 감쇠를 평가하였다(Fig. 7). 본 연구에 사용된 시료에 대한 광 자극 발광(OSL) 신호는 조사 경과 시간에 따라 감쇠하는 특성을 나타냈다. 초기 1, 24, 48시간 경과 후, 각각 약 44%, 45%, 48%의 감쇠를 나타낸다. 감쇠곡선을 통해 나타난 결과는 본 시료를 이용한 실제 선량 복원 시 보정 값으로 사용될 수 있다.

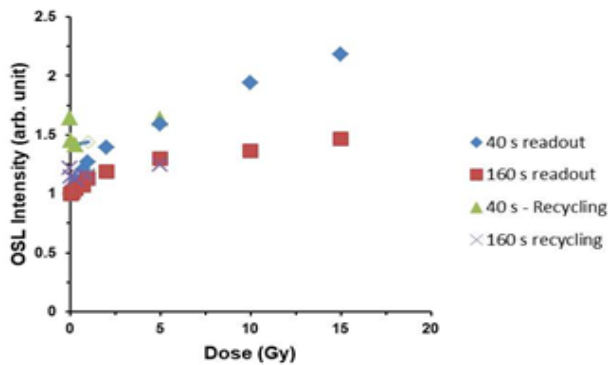


Fig. 6. The results of recycling of smart chip card. After irradiation, the absorbed dose in the sample was repeatedly measured by OSL measurement. Absorbed dose measurements by OSL show a constant response to radiation, regardless of repeated use. However, the difference in initial doses is shown when the radiation is re-irradiated. This indicates that the accumulation of the dose in the sample during OSL measurement of 40s, which is relatively short in reading time, is shown.

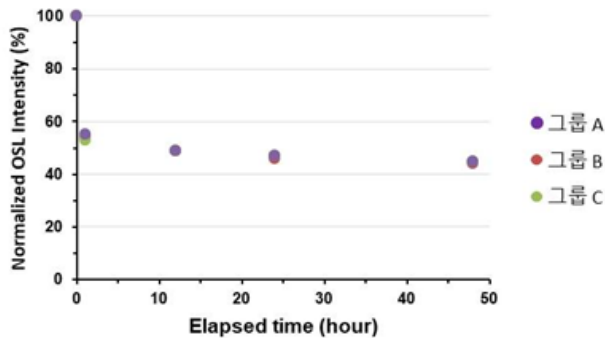


Fig. 7. The result of the decay rate (fading). The decay rate shows 44 %, 45 %, 48 % after one hour, 24 hours, 48 hours since irradiation, respectively. After the initial irradiation, it shows a somewhat higher decay rate, but it is presumed that there will be little change thereafter for a long time.

IV. 고 찰

2011년 일본 후쿠시마 원전 사고 후, 최근 동일 지역 내에서 15일 후 400 mSv 선량이 검출되었으며, 인근 지역 거주민의 경우 최대 시간당 0.5 mSv의 피폭을 받는 것으로 확인되었다[11]. 또한 의료방사선의 경우 치료의 목적으로 사용되기에 그 성격상 방사선 노출장해로 간주하지 않는다. 그러나 자연방사선 및 건강 검진 및 치료의 목적으로 수반되는 방사선 노출의 장해유발은 수정체의 백내장 유발, 불임

등을 포함한 확률적 장애의 요인으로 이어질 수 있다[12]. 이에 방사선 조사로 인하여 발생할 수 있는 장애는 무시되어서는 안된다고 생각한다. 이와 같은 이유로 방사선작업종사자를 포함하여 개인피폭선량계를 소지하지 않는 일반인의 신속한 피폭 방사선량 측정 및 복원은 긴급 상황을 그 중요도가 높아지고 있다.

본 연구는 위와 같은 목적으로 물질과 방사선의 상호작용 특성을 이해하고 신용카드, 신분증 등의 내부에 존재하고 실생활에서 쉽게 구할 수 있는 스마트 칩 카드를 이용하여 방사선 조사 및 광 자극 발광(OSL)기법 적용을 통한 물질의 방사선 반응도 및 피폭선량 복원 가능성에 대한 연구를 진행하였다. 방사선 조사에 사용된 칩 카드 한쪽 면은 일반적인 칩 카드에서 볼 수 있는 칩을 읽는 기계와 접촉하는데 사용되며 금속 접점으로 되어있으며, 결정구조를 가지고 있지 않아 방사선 조사 후 열 또는 광 자극에 의해 반응하지 않는다. 이에 스마트 칩 카드 후면에 부착된 자외선 경화 에폭시 레진을 물리적으로 추출하여 광 자극 발광(OSL) 기법을 적용하여 피폭방사선량 측정 및 복원을 진행하였다. 동일 시료에 대해 같은 방사선량을 조사하더라도 방사선 반응도의 차이가 나타날 수 있는 가능성을 대비하여 동일 시료 10개에 대해 배경선량을 측정한 결과 1%의 오차로 시료 간 방사선반응도 편차는 매우 작은 것으로 나타났다. 또한, 조사된 선량(0.06 - 15 Gy) 범위 내에서 광 자극 발광(OSL)기법 적용을 통해 선량 측정을 한 결과 선형적인 반응을 나타내었으며, 이를 통해 스마트 칩 카드의 전리방사선 반응도가 민감하게 나타나며 조사된 선량은 Blue light를 통해 측정이 가능하다는 증거를 제시할 수 있었다[13]. 또한, 기존 광 자극 발광(OSL) 기법을 적용하여 사후방사선량이 평가되었던 타 시료(유리, 저항, 벽돌 등)에 비해 빠르게 추출할 수 있다는 장점과 더불어 낮은 방사선 감쇠율과 최소검출하한치(MDD)를 나타냄으로써 사후피폭선량 측정에 효과적인 시료로 사용될 가능성을 나타냈다[14,15]. 단, OSL 기법 적용 시 광 조사 시간(40, 160초)에 따른 선량 측정 결과 및 누적 선량의 값이 다르게 나타남에 따라 적절한 광 조사 시간 설정에 대해 추가적인 연구가 필요하다. 더불어 추후 실제 사고 발생 시 선량복원의 정확한 평가를 위해 개인의 방사선 피폭 노출 시간 및 경과 시간, 세부적인 감쇠 속도 및 시간, 사고 선량으로부터의 거리 등의 세밀한 분석 조건을 추가로 진행하여 신속하고 정확한 인체 피폭 방사선량 측정 및 복원 연구를 진행할 예정이다.

V. 결 론

스마트 칩 카드의 광 자극 발광(OSL)기법 적용으로 측정된 방사선 반응도는 0.06-15 Gy 사이의 선량에서 선형적 반응도를 나타냈다. 방사선 조사 후 경과 시간에 따라 1, 24, 48시간 동안 각각 약 44%, 45%, 48%의 감쇠를 나타냈다. 시료 간 나타날 수 있는 편차를 측정하기 위해 동일 종류 10개에 대한 안정성 측정 결과 시료 간 오차는 1%로 편차는 거의 없는 것으로 나타났다. 또한, 방사선 조사 및 광 측정 후 반복 사용에도 동일한 반응을 나타내어 광 자극 발광(OSL) 기법을 통한 선량 측정 후 동일 시료에 대한 재 사용 가능성이 높게 나타났다.

본 연구를 통해 스마트 칩 카드의 광 자극 발광(OSL)기법을 이용하여 고용량 방사선 누출 사고 발생 시 즉각적인 피폭 선량 측정 가능하다고 생각된다. 추후 장기간에 걸친 신호 감쇠 특성을 평가하고 피폭 후 긴 경과 시간에도 정확한 보정이 가능하도록 시료의 수를 늘려 최소검출한한치(MDD)의 정교한 수치를 산출하여 실험 오차를 줄여 정확한 연구 결과를 산출 할 예정이다.

감사의 글

본 연구 수행을 위한 연구비 수혜는 (재단)한국원자력안전재단 안전규제 적용을 위한 열발광/광자극발광 기법 이용 피폭선량 사후평가 최적화 기술 개발(과제번호 1075000738)를 통해 이뤄졌음을 밝히는 바입니다.

REFERENCES

- [1] Clemens W, Thomas S. On the use of OSL of wire-bond chip card modules for retrospective and accident dosimetry. *Radiation Measurement*. 2009;44(5-6): 548-53.
- [2] Murraya AS, Wintle AG. The single aliquot regenerative dose protocol: potential for improvements in reliability. *Radiation Measurements*. 2003; 37(4-5):377-81.
- [3] Lee JI, Chang I, Pradhan AS, Kim JL, Kim BH, Chung KS. On the use of new generation mobile phone (smart phone) for retrospective accident dosimetry. *Radiation Physics and Chemistry*. 2015;116:151-4.
- [4] Trans Tech Publications Ltd. *Luminescence Related Phenomena and Their Applications: Special Topic Volume with Invited Peer Reviewed Papers Only*. 1st ed. Zurich, Switzerland, Trans tech publications; 2014.
- [5] Wintle AG, Adamiec G. Optically stimulated luminescence signals from quartz: A review. *Radiation Measurements*. 2017;98:10-33.
- [6] Park JK, Son SJ, Park MH. Comparison on the Dosimetry of OSLD and PLD Used in Nuclear Medicine. *JRST*. 2019;42(1):47-51.
- [7] Park SW, Lee JL, Kim HT, et al. Retrospective dose measurement using Optical Stimulated Luminescence (OSL) Characteristic of smart chip card for radiation accident, 1st ed. Jeju Island, Korea. Conference of Korea Association For Radiation Protection. 2017; 394-95.
- [8] Pradhan AS, Lee JI, Kim JL. Use of OSL and TL of Electronic Components of Portable Devices for Retrospective Accident Dosimetry. *Defect and Diffusion Forum*. 2014;347:229-45.
- [9] Mrozik A, Marczevska B, Bilski P, Ksiazek M. OSL signal of IC chips from mobile phones for dose assessment in accidental dosimetry. *Radiation Measurement*. 2017;98:1-9.
- [10] Bøtter-Jensen L, Thomsen KJ, Jain M. Review of optically stimulated luminescence (OSL) instrumental developments for retrospective dosimetry. *Radiation Measurement* 2010;45(3-6):253-7.
- [11] Bachev H, Ito F. Fukushima nuclear disaster - implications for Japanese agriculture and food chains. 1st ed. Tohoku of Japan, Munich Personal RePEc Archive; 2013.
- [12] Jeong MY, Gwon DC, Gwon SI. Effectiveness of Bismuth Shield to Reduce Eye Lens Radiation Dose Using the Photoluminescence Dosimetry in Computed Tomography. *JRST*. 2009;32(3):307-12.
- [13] Mathur VK, Barkyoub JH, Yukihara EG, Goksu HY. Radiation sensitivity of memory chip module of an ID card. *Radiation Measurement*. 2007;42(7): 43-8.
- [14] Clemens W, Irene F, Thomas S. On the use of OSL

of chip card modules with molding for retrospective and accident dosimetry. *Radiation Measurement*, 2012;47(11):1068–73.

[15] Clemens W, Celine B, Francois T, Emanuela B, Sara

Della M, Paola F. Radiation-induced damage analysed by luminescence methods in retrospective dosimetry and emergency response. *Ann Ist Super Sanata*, 2009;45(3):297–306.