



저작자표시-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2017년 2월  
석사학위 논문

전자선량계를 이용한 핵의학 방사선  
작업종사자의 피폭선량평가

조선대학교 대학원

원자력공학과

송 하 진

전자선량계를 이용한 핵의학 방사선  
작업종사자의 피폭선량평가

Dose evaluation of nuclear medicine radiation workers  
using electronic dosimeter

2017년 2 월 24 일

조선대학교 대학원

원자력공학과

송 하 진

# 전자선량계를 이용한 핵의학 방사선 작업종사자의 피폭선량평가

지도교수     정   운   관

이 논문을 공학 석사학위 신청 논문으로 제출함

2016년 10 월

조 선 대 학 교   대 학 원

원자력공학과

송   하   진

## 송하진의 석사학위논문을 인준함

위원장    조선대학교    교수 이 경 진 (인)

위    원    조선대학교    교수 송 중 순 (인)

위    원    조선대학교    교수 정 운 관 (인)

2016 년    11    월

조선대학교 대학원

## 목 차

List of Figures.....	iii
List of Tables.....	iv
ABSTRACT.....	v
제1장. 서론.....	1
제1절. 연구 배경.....	1
제2절. 연구 목적.....	2
제2장. 본론.....	4
제1절. 이론적 배경.....	4
1. 방사선.....	4
2. 방사선량.....	4
제3장. 연구재료 및 방법.....	11
제1절. 연구재료.....	11
제2절. 측정장비 및 측정방법.....	12
1. ED3(Active Extremity Dosimeter).....	12
2. 측정방법.....	15
제3절. 통계분석방법.....	19
제4장. 결과.....	20
제1절. 종사자 수정체 피폭선량 평가.....	20
1. 연간 수정체 예상 피폭선량.....	20
2. 차폐여부에 따른 피폭선량 비교.....	21

3. 분배 및 주사에 따른 피폭선량 비교 .....	22
4. 분배 업무할 때 차폐여부에 따른 피폭선량 비교 .....	23
5. 주사 업무할 때 차폐여부에 따른 피폭선량 비교 .....	24
제2절. 선원별 피폭선량 평가 .....	25
1. 선원별 피폭선량 평가 .....	25
2. 각 선원별 1mCi 환산 .....	26
제5장. 결론 .....	32
참고문헌 .....	34

## List of Figures

Figure 1	ED3 교정서 .....	14
Figure 2	ED3 및 ED3D1 부착사진 .....	15
Figure 3	업무별 선원 및 용량 .....	15
Figure 4	FDG 자동분주장치(Auto Dose Dispenser) .....	16
Figure 5	Tc-99m L블럭 및 제너레이터(Generator) .....	16
Figure 6	Injection Cart .....	17
Figure 7	ED3 Graphical Data .....	18
Figure 8	ED3 Textual Data .....	18
Figure 9	SPSS Version 21.0 .....	19



## List of Tables

Table 1	최근 5년간 의료기관 방사선작업 종사자 수 및 피폭선량 현황 .....	2
Table 2	핵의학 관련 분야별 검사 현황 .....	2
Table 3	방사선 가중계수 .....	7
Table 4	조직 가중계수 .....	8
Table 5	계획피폭 상황에서의 권장피폭선량 .....	10
Table 6	방사성 동위원소 핵종 정보 .....	11
Table 7	ED3 Active Extremity 선량계 .....	12
Table 8	ED3 Active Extremity 검출기 .....	13
Table 9	ED3 교정결과 .....	14
Table 10	핵의학과 방사선작업종사자의 작업시간 동안의 피폭선량률 .....	20
Table 11	핵의학과 방사선작업종사자의 차폐사용 유무 .....	21
Table 12	핵의학과 방사선작업종사자의 업무별 피폭선량률 .....	22
Table 13	방사성동위원소 의약품 분배할 때 차폐 유무 .....	23
Table 14	방사성동위원소 의약품 주사할 때 차폐 유무 .....	24
Table 15	선원별 피폭선량 .....	25
Table 16	I-123을 분배 및 경구투여 했을 때 1 mCi로 환산 .....	26
Table 17	I-123을 동시투여 했을 때 1 mCi로 환산 .....	27
Table 18	Tc-99m을 분배할 때 1 mCi로 환산 .....	28
Table 19	Tc-99m을 주사할 때 차폐 유무 1 mCi로 환산 .....	29
Table 20	FDG을 분배할 때 1 mCi로 환산 .....	30
Table 21	FDG을 주사할 때 차폐 유무 1 mCi로 환산 .....	31

## ABSTRACT

### Dose evaluation of nuclear medicine radiation workers using electronic dosimeter

Song, Ha - Jin

Advisor : Prof. Chung, Woon-kwan, Ph.D.

Department of Nuclear Engineering,

Graduate School of Chosun University

It is suggested that the dose limit recommended in the Enforcement Decree of Korea's Nuclear Safety Act should not exceed 150 mSv per year for radiation workers. Recently, however, ICRP 118 report has suggested that the threshold dose of the lens should be reduced to 0.5 Gy and the mean dose should not exceed 50 mSv per year for an average of 20 mSv over 5 years. Based on these contents, I-123, Tc-99m, and FDG, which are radioisotope drugs that are used directly by radiation workers in the nuclear medicine department in Korea are expected to receive a large dose of radiation in the lens in distribution and injection jobs to administer them to patients. Since it was suggested that the dose equivalent of the lens presented in ICRP 103 can be measured by using dose equivalent of skin for the monitoring purpose, this study measured the lens exposure dose of the radiation workers in the nuclear medicine department by using ED3 Active Extremity Dosimeter, an extremity dosimeter. The measured values were analyzed by the work of the radiation workers in the nuclear medicine department, the presence or absence of shielding, and the source. In addition, by checking the work, presence or absence of shielding of each source, we performed descriptive statistics

by using the SPSS Version 21.0 for the exposure dose given to the lens per 1 mCi. As a result of measuring distribution and injection tasks for each worker, the annual dose is relatively low, but it is difficult to determine the exact dose because it is limited to distribution and injection tasks. However, by using the Dose Calibrator by using the result of analyzing the exposure dose per 1 mCi, it is expected that the radiation workers in the nuclear medicine department themselves can judge the expected exposure dose to the lens. In addition, since continuous exposure may cause lens opacity and cataract, it is thought that radiation safety managers and related regulatory agencies should manage and continually study the exposure dose of the lens.

**key word:** Dose of the lens, Radiation workers, I-123, Tc-99m, FDG

## 제1장. 서론

### 제1절. 연구 배경

현재 국내 원자력안전법은 1990년 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection, ICRP)의 60 권고에 나와 있는 방사선작업종사자의 수정체에 대한 등가선량한도를 연간 150 mSv로 설정하고 있다[1]. 그 후 2007년 국제방사선방호위원회의 103 권고에서는 눈의 방사선 민감성에 대한 새로운 데이터가 도출되어지고 있고 수정체 등가선량한도의 관점에서 중요성을 재검토할 것이라고 언급하였다[2,3]. 2011년 4월 국제방사선방호위원회에서 발표한 조직반응에 대한 성명서에서 장기간의 관찰과 최근 가용한 역학 조사들의 결과를 통하여 수정체의 조직반응 문턱선량을 0.5 Gy로 낮추고, 수정체 등가선량한도를 “5년 동안 평균 20 mSv, 그리고 한 해에 50 mSv를 초과하지 않아야 한다.”로 하향 조정하여 권고하였다[4]. 국제원자력기구(International Atomic Energy Agency, IAEA)에서도 2011년 Basic Safety Standards 개정판에서도 ICRP 성명서의 내용을 수용하여 직무피폭과 일반인 피폭에 있어 수정체 등가선량한도를 “각각 연간 20mSv 및 15mSv”로 제시하였다[5]. 특히 미국, 독일, 호주 등 각 나라의 원자력규제위원회 및 방사선방호위원회들이 적극적으로 ICRP를 수용하여 보고서를 발표하고 있다. 그러나 우리나라는 아직 수정체 피폭선량을 명확하게 측정해본 사례가 없다.

## 제2절. 연구 목적

현재 우리나라 국민소득이 증가하고 있으며 전 국민 의료보험으로 인한 개인의 건강 관리에 대한 요구가 증가함으로서 방사선의 이용도는 더욱 증대되고 국민 의료보험의 혜택으로 인하여 방사성동위원소를 이용하여 암을 찾아내고 치료를 하고 있다. 2012년 우리나라 암발생자 수는 226,216명으로 2008년 182,129명에서 보면 5년 사이에 크게 증가하고 있다[6].

Table 1. 최근 5년간 의료기관 방사선작업 종사자 수 및 피폭선량 현황[7]

연도	2009년		2010년		2011년		2012년		2013년	
	종사 자수(명)	평균 선량 (mSv/y)	종사 자수(명)	평균 선량 (mSv/y)	종사 자수(명)	평균 선량 (mSv/y)	종사 자수(명)	평균 선량 (mSv/y)	종사 자수(명)	평균 선량 (mSv/y)
업종별 의료기관	3,523	0.97	3,833	0.99	4,133	0.96	4,376	0.87	4,734	0.73

현재 국내 의료기관 방사선작업종사자는 2008년 3,344명이고 2012년말 4,376명으로 매년 꾸준히 증가하였고[7], 의료기관 방사선작업종사자 중에 핵의학관련 종사자는 2008년 1,361명에서 2012년 1,698명으로 증가하였다[8]. 의료기관의 집단선량을 구해보면 각년도 2009년 의료기관의 집단선량은 3,417 man-mSv에서 2013년 의료기관의 집단선량은 3,455 man-mSv로 증가하였다[9].

Table 2. 핵의학관련 분야별 검사 현황[8] (단위: 건수)

구분	2008	2009	2010	2011	2012	
핵의학 검사	치료 RI	25,078	28,307	28,725	29,665	31,122
	영상검사	563,024	583,555	557,615	559,042	574,741
	PET 검사	247,933	308,663	341,992	366,315	401,429
	검체내검사	2,524	3,380	2,356	2,559	2,680
	계	838,559	923,905	930,688	957,581	1,009,972

\* Tc-99m을 활용한 영상검사를 포함한 수치

우리나라 핵의학과에서 사용하는  $^{99m}\text{Tc}$ ,  $^{18}\text{F}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{201}\text{Tl}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{67}\text{Ga}$  등 방사성동위원소 사용량이 매년 증가하거나 감소하고 있고[8], 핵의학에서 진행되는 치료, 영상검사, PET

검사, 검체내검사의 건수는 2008년에는 838,559건이고 2012년에는 1,009,972건으로 계속 증가하였다[8]. 핵의학에서 직접적으로 사용하는 검사는 계속적으로 증가하고 있다.

본 연구에서는 핵의학종사자의 검사 건수가 증가함으로써 계속적으로 종사자가 받는 피폭선량이 증가할 것 이라고 예상하고 그로 인해 심부, 말단, 수정체등의 조직에 받는 피폭선량 또한 각각 측정해보아야 된다고 생각되어진다. 특히 현재 ICRP 118 보고서에 의하면 수정체에 대한 문턱선량을 5 Gy에서 0.2-0.5 Gy로 하향조정하고 계획피폭상황의 직무피폭의 경우 5년 동안 평균 20 mSv, 그리고 한 해에 50 mSv를 초과하지 않아야 된다고 제시되어 있다[10]. 한편 방사성동위원소를 분배 및 주사하는 등 업무특성상 손 부위와 수정체에 피폭을 많이 받는 핵의학과 방사선작업종사자는 기존의 전신 유효선량 평가로는 말단과 수정체의 평가가 불합리하며 그것만으로는 항상 방호할 수 없고 손 부위 및 수정체에 대한 별도의 선량평가가 필요하다고 분석되어지고 실질적으로 핵의학과 방사선작업종사자의 손 부위의 피폭선량은 높음에도 불구하고 그에 대한 선량평가는 이루어지지 않고 있다. 따라서 수정체 선량에 대하여 측정해보고 고려해봐야 된다고 한다[11]. 수정체에 받는 피폭선량이 중요시 되어지는 가운데 아직 정확한 수정체선량계가 없지만 ICRP의 간행물 103에서 Hp(3)대신 Hp(0.07)을 수정체 등가선량으로 간주해도 무방하다는 입장을 권고하고 있다[2]. 말단선량계인 ED3(Active Extremity Dosimeter)를 이용하여 우리나라 처음으로 말단선량계를 이용하여 눈과 가깝게 설치하여 적합하게 수정체에 받는 선량을 측정해보고 각 측정되어진 값을 선원별 및 직무별로 나누어 연간 핵의학과 방사선작업종사자가 받는 수정체 피폭선량을 예측해 보았다.

## 제2장. 본론

### 제1절. 이론적 배경

#### 1. 방사선(Radiation)

방사선(radiation)이란 전자기파 또는 입자선 중 직접 또는 간접으로 공기를 전리하는 능력을 가진 것으로서 방사선의 종류는 알파선, 중양자선, 양자선, 베타선 및 그 밖의 중하전입자선, 중성자선, 감마선, X선을 뜻하는 용어를 말한다.

방사선은 물질을 통과할 때 직접 또는 간접적으로 그 물질의 원자를 전리시키는 능력을 가지는 전리방사선을 의미하며,  $\alpha$ 선,  $\beta$ 선, 양성자 등은 전하(charge)를 띠고 있어 물질을 통과할 때 그 물질의 원자를 직접 전리시킬 수 있다고 해서 직접 전리방사선이라 한다. 한편, 전하를 갖지 않은 중성자선과 전자기파인  $\gamma$ 선 및 X선은 그 자체적으로 전리 능력은 없으나 물질과의 상호작용 결과 2차적으로 생성된 고속전자에 의해서 전리 능력을 지니게 되므로 간접전리방사선이라 한다[12].

#### 2. 방사선량(Radiation Dose)

##### 가. 흡수선량(Absorbed Dose: Gy)

Fig. 1과 같이 공기커마는 공기의 단위 질량 당 방사선에 의해 부여된 전하량이며 흡수선량은 어떤 물질의 단위 질량당 부여된 에너지의 양으로 정의된다. 다시 말하자면, 흡수선량(기호 D)은 특정 미소체적  $dV$ 은 매질의 미소질량  $dm$ 에 부여된 에너지  $d\bar{\epsilon}$ 을  $dm$ 로 나눈 몫이며, 다음 (1.1)식과 같이 정의된다.

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm} \quad (1.1)$$

여기서  $d\bar{\epsilon}$ 는 다음 (1.2)식과 같이 주어진다.

$$d\bar{\epsilon} = dR_{in} - dR_{out} + d\sum Q \quad (1.2)$$

여기서  $dR_{in}$ 은 미소체적  $dV$ 내로 들어오는 모든 하전입자 및 비하전입자의 에너지,  $dR_{out}$ 은 미소체적  $dV$ 로부터 떠나가는 모든 하전 입자 및 비하전입자의 에너지,  $d\sum Q$ 는  $dV$ 내에서 핵 및 기본 입자의 정지에너지의 모든 변화의 합이다.  $Q>0$  이면 정지 에너지 감소,  $Q<0$ 이면 정지 에너지의 증가를 뜻한다. 흡수선량의 단위는  $Jkg^{-1}$ 이며, 이 단위의 특수이름은 그레이( $Gy$ )이다. 그리고 흡수선량률(기호  $\dot{D}$ )은 다음 (1.3)식과 같이 정의된다.

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} \quad (1.3)$$

흡수선량률의 단위는  $Jkg^{-1}s^{-1}$ 이며, 단위의 특수이름은 단위시간당 그레이( $Gys^{-1}$ )이다.

정의로부터 흡수선량과 흡수선량률은 각각 다음 (1.4), (1.5)식과 같이 표현될 수 있다.

$$D = \frac{\left(\frac{\text{interactions}}{\text{volume}}\right)(\text{volume})\left(\frac{\text{mean energy imparted}}{\text{interaction}}\right)}{(\text{mass of the volume})} \quad (1.4)$$

$$\dot{D} = \frac{\left(\frac{\text{interactions}}{\text{volume} \cdot \text{sec}}\right)(\text{volume})\left(\frac{\text{mean energy imparted}}{\text{interaction}}\right)}{(\text{mass of the volume})} \quad (1.5)$$

비하전입자의 플루언스를  $\Phi$ , 플루언스율을  $\dot{\Phi}$ , 원자수 밀도를  $n$ , 단면적을  $\sigma$ , 충돌당 부여된 에너지를  $\bar{\epsilon}_{en}$ , 임의의 매질  $m$ 의 밀도를  $\rho$ 라 놓으면 각각 다음 (1.6)과 (1.7)식과 같이 주어진다.



$$D = \frac{(\Phi n \sigma)(V)(\overline{\epsilon_{en}})}{(\rho V)} = \Phi E \left[ \frac{\overline{\epsilon_{en}}}{E} \left( \frac{\mu}{\rho} \right)_m \right] = \Phi E \left( \frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_m \quad (1.6)$$

$$\dot{D} = \frac{(\dot{\Phi} n \sigma)(V)(\overline{\epsilon_{en}})}{(\rho V)} = \dot{\Phi} E \left[ \frac{\overline{\epsilon_{en}}}{E} \left( \frac{\mu}{\rho} \right)_m \right] = \dot{\Phi} E \left( \frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_m \quad (1.7)$$

(1.6)식과 (1.7)식에서  $(\mu/\rho)_m$  와  $(\mu_{en}/\rho)_m$ 는 각각 임의의 매질  $m$ 에 대한 비하전입자의 질량감쇠계수와 질량에너지 흡수계수이다. 그리고  $\Phi$ ,  $\dot{\Phi}$ ,  $E$  및  $\mu/\rho$ ,  $\mu_{en}/\rho$ 의 단위는 각각  $m^{-2}$ ,  $m^{-2}$ ,  $m^{-2}s^{-1}$ ,  $MeV$  및  $m^2/kg$ 이다. 식 (1.6)과 식(1.7)을 다시 쓰면, 흡수선량과 흡수선량률은 각각 다음 (1.8)과 (1.9)식과 같이 주어진다.

$$D = 1.602 \times 10^{-13} \Phi E \left( \frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_m (Gy) \quad (1.8)$$

$$\dot{D} = 1.602 \times 10^{-13} \dot{\Phi} E \left( \frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_m (Gy/s) \quad (1.9)$$

비하전입자의 에너지 분포를 고려하면, 흡수선량과 흡수선량률은 각각 다음 (1.10)과 (1.11)식과 같이 주어진다.

$$D = 1.602 \times 10^{-13} \int \Phi_E E \left( \frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_m (Gy) \quad (1.10)$$

$$\dot{D} = 1.602 \times 10^{-13} \int \dot{\Phi}_E E \left( \frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_m (Gy/s) \quad (1.11)$$

여기서  $\Phi_E$ 와  $\dot{\Phi}_E$ 는 비하전입자의 플루언스와 플루언스율에 대한 에너지 분포이다 [13].

## 나. 등가선량(Equivalent Dose: Sv)

동일한 흡수선량이라 할지라도 방사선의 종류 및 에너지에 따라 방사선의 인체의 조직 또는 장기에 미치는 효과는 서로 다르게 나타난다. 방사선 방호 관점에서 방사선의 질에 따른 방사선의 생물학적 효과를 고려하기 위하여 흡수선량을 방사선의 질에 따른

상대적 생물학적 효과비로 보전한 양이 등가선량( $H_T$ )이며, 이는 다음 (2.1)식과 같이 정의된다.

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R} \quad (2.1)$$

여기서  $H_T$ 는 조직 또는 장기  $T$ 에 대한 등가선량,  $D_{T,R}$ 는 방사선  $R$ 에 기인된 조직 또는 장기  $T$ 에 대한 흡수선량,  $w_R$ 는 방사선 가중치이다. 등가선량의 단위는  $Jkg^{-1}$ 이며, 이 단위의 특수이름으로는 시버트( $Sv$ )가 사용된다[14].

Table 3. 방사선 가중계수

Radiation type	Quality factor
$\beta, \gamma, X$ -rays	1
electron	1
protons	2
Heavy and recoil nuclei	20

### 다. 유효선량(Effective Dose: $Sv$ )

동일한 등가선량이라 할지라도 방사선의 확률적 효과의 발생 위험의 정도는 인체의 조직 또는 장기에 따라 서로 다르게 나타난다. 따라서 인체 내 조직간 선량분포에 따른 위험의 정도를 하나의 양으로 나타내기 위하여 각 조직의 등가선량에 해당 조직의 조직가중치를 곱하여 이를 모든 조직에 대해 합산한 양을 유효선량( $E$ )이라 하며, 다음 (3.1)식과 같이 정의 된다.

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R} \quad (3.1)$$

여기서  $w_T$ 는 조직 가중치이며, 이 값은 표4와 같이 주어진다. 유효선량의 단위는  $Jkg^{-1}$ 이며, 이 단위의 특수이름으로는 시버트( $Sv$ )가 사용된다[15].

Table 4. 조직 가중계수

Tissue	ICRP103 weighting factor(2007year)
breasts, lungs, stomach,	0.12
colon, red marrow, remainder tissue	0.12
gonads	0.08
thyroid, esophagus, liver, bladder	0.04
brain, salivary glands, bone, skin	0.01
lower large intestine	-
	$\sum W_T = 1$

Remainder tissue : adrenal, extrathoracic, gall bladder, heart, kidney, lymphatic nodes, muscle, oral mucosa, pancreas, prostate, small intestine, spleen, thymus, uterus/cervix

### 라. 집단선량(Collective Dose: man-Sv)

집단선량이란 어떤 행위로 인해 발생하는 특정 사람들 집단의 총 선량을 말하는데 집단선량은 유효선량으로만 표현한다. 집단유효선량 S는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$S = \int_0^{\infty} E \left( \frac{dN}{dE} \right) dE \quad (4.1)$$

여기서  $dN/dE$ 는 유효선량 E와 E+dE 사이의 선량을 피폭한 사람들의 수로서 집단내 유효선량의 분포함수이다. 피폭자 수는 정수이므로 식(4.1)은 유효선량의 구간을 G개로 나누어 도수분포를 구하여 처리하면

$$S = \sum_g^G \overline{E}_g N_g \quad (4.2)$$

로 나타낼 수도 있다. 또는 집단선량이란 곧 관련된 모든 사람들의 개인 유효선량의 합이므로 단순히

$$S = \sum_i E_i \quad (4.3)$$

로 쓸 수도 있다. 여기서  $I$ 는 피폭자 개개인을 의미하며  $E_i$ 는 개인의 유효선량이다. 집단선량  $S$ 의 통상 단위는 맨-시버트(man-Sv)이다.

주어진 시간 동안의 피폭이 아니라 긴 시간 지속되는 피폭이라면 선량률을 시간에 대해 적분하여 집단선량을 구한다. 즉, 식(4.1)은

$$S = \int_0^T dt \int_0^\infty \dot{E} \left( \frac{dN}{d\dot{E}} \right) d\dot{E} \quad (4.4)$$

로 확장할 수 있다. 환경 중으로 방출된 방사능으로 인해 주민이 장기간 피폭할 선량을 총합하는 경우가 그 예이다.

집단선량은 모든 어떤 행위와 관련된 특정 집단 사람들의 총 피폭이므로 이 양은 행위로 인한 방사선피폭의 합리성(정당성 및 최적성) 판단의 지표로 사용되기도 하며, 또 종합적인 확률적 위험의 평가량으로 사용된다. 중요한 사항은 집단선량을 평가하는 대상 집단은 구성원의 속성이 비슷하여야 집단선량의 의미가 있다는 점이다. 전혀 다른 속성의 집단, 예를 들어 원전 종사자와 주변 일반인까지 묶은 집단에 대해 평가한 집단선량에는 의미를 부여하기 어렵고 따라서 그 용도도 애매하다. 종사자만의 집단선량 또는 주민만의 집단선량을 따로 평가한 값을 보면 종사자 방호가 충분한지, 일반인 방호에 추가 노력이 필요한지를 판단하는 데 도움이 된다. 필요에 따라서 종사자도 직무유형별(예: 원자로 운전, 폐기물처리, 방사선관리 등)로 소그룹 집단선량을 평가하면 피폭 상황을 더욱 구체적으로 파악할 수 있을 것이다[16].

## 마. 선량한도(Dose Limit)

선량한도는 환자 의료피폭이 아닌 계획피폭상황에만 적용된다. 즉 환자의 피폭된 선량이 아닌 종사자와 일반인을 대상으로 설정되어진 권고된 선량한도 값이다. 권고하는 선량한도는 표5와 같다. 그러나 ICRP 103의 선량한도 값은 다양하고 위험한 노출 상황을 적용시킨 사회적 판단을 근거로 제시한다. 모든 의미에서 반드시 적용될 수 없으며, 특히 상황에 맞는 포괄적인 값으로 가변되어진다. 즉, 가장 높게 피폭된 개인에 대한 방호를 규제당국이 선정할 수 있다. 또한, 계획피폭에 대한 선량제약치는 운영자에 의해 결정되어 질 수 있다. 방호의 최적화하는 사회적 배경을 반영하여 선원중심의 선

량제약치를 사용함으로써 선량을 감축할 수 있다[17]. 우리나라 원자력법에서는 사람의 신체 외부 또는 내부에 피폭하는 방사선량을 정하여 엄격하게 관리하고 있다. 선량한도는 외부에 피폭하는 방사선량과 내부에 피폭하는 방사선량을 합한 피폭방사선량의 상한값으로서 표5와 같다. 선량한도는 ICRP의 1990년 권고(ICRP60)를 원자력법에 반영한 것으로 2003년부터 전면적으로 시행되고 있다[18].

Table 5. 계획피폭 상황에서의 권장피폭선량

구	분	방사선작업종사자	수시출입자 운반종사자	일반인
	유효선량한도	연간 50mSv를 넘지 않는 범위내 5년간 100mSv	연간 12mSv	연간 1mSv
등가선량한도	수정체	연간 150mSv	연간 15mSv	연간 15mSv
	손·발 및 피부	연간 500mSv	연간 50mSv	연간 50mSv

1. 위 표에서 “5년간”이라 함은 임의의 특정연도부터 계산하여 매 5년씩의 기간(예:1998~2002)을 말한다. 다만, 1998년도 이전의 기간에는 이를 적용하지 아니한다.
2. 일반인의 경우 5년간 평균하여 연 1mSv를 넘지 아니하는 범위에서 단일한 1년에 대하여 1mSv를 넘는 값이 인정될 수 있다.
3. 방사선작업종사자중 임신이 확인된 자와 일반인중 방사성동위원소 등을 제한적 또는 일시적으로 사용하는 자에 대하여는 과학기술부장관이 따로 정하여 고시하는 바에 의한다.

## 제3장. 연구재료 및 방법

### 제1절. 연구재료

본 연구는 핵의학 검사에서 많이 쓰이는 방사성동위원소 의약품인 I-123, Tc-99m, FDG( $^{18}\text{F}$ 을 동위원소로 표지한 포도당)를 가지고 핵의학과 방사선작업종사자의 피폭선량을 측정해 보았다.

Table 6. 방사성동위원소 핵종정보

핵종	반감기	붕괴형식	주요 방출 방사선(MeV)		
			$\beta$ 선혹은 $\alpha$ 선 에너지와 방출 비율	$\gamma$ 선 에너지와 방출 비율	
$^{18}\text{F}$	109.8 min	$\beta^+$ EC	0.633	96.7% 3.3%	0.511
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.01 hour	IT			0.141      89.1%
$^{123}\text{I}$	13.27 hour	EC			0.159      83.3%

방사성동위원소 핵종정보를 보면 각각의 동위원소 정보는  $^{18}\text{F}$ 의 반감기는 109.8분 붕괴형식은  $\beta^+$ 로 베타선과 감마선이 각각 0.633 MeV, 0.511 MeV 방출하며 Tc-99m은 반감기가 6.01시간이고 감마선을 0.141 MeV 방출하고 I-123의 반감기는 13.27시간으로 감마에너지 0.159 MeV를 방출한다.

## 제2절. 측정장비 및 측정방법

### 1. ED3(Active Extremity Dosimeter)

ED3(Active Extremity Dosimeter)는 Rotunda S.T에서 나온 제품으로써 에너지별로 디텍터를 다르게 두고 있는 전자선량계이다. 이 선량계의 주요 용도는 중재적 방사선, 방사선 치료, 핵의학, 높은 선량 환경에서 측정이 가능하다. 주요특징을 보면 베타와 광자(감마, X선)에 대한 Hp(0.07)을 실시간으로 기록 또는 ALARA의 영향에 대해 모니터링 할 수 있고, 오염된 감지기는 교체를 위해 분리가 가능하고, 수집된 데이터를 저장 및 분석 가능하며, 소프트웨어를 사용하여 PC에 보관 할 수 있다. 그리고 수정체 선량 Hp(3) 측정에 적합하다.

Table 7. ED3 Active Extremity 선량계

ED3 Active Extremity Dosimeter	
Part Number	기술
ED3	모니터링을 위한 Active Extremity 선량계, 1개 또는 2개의 검출기에서 수집하고 데이터를 표시합니다(동일한 유형이어야 함). 1개의 ED3D1 검출기와 ED3 데이터 관리자 소프트웨어 제공. ED3D4는 ED3D1 감지기를 대체 할 수 있다.
ED3D1	검출기는 Hp(0.07)에서 60keV~1.25MeV의 광자를 측정하기 위해서 설계 되었다.
ED3D4	검출기는 Hp(0.07)에서 60keV 이하의 광자를 측정하기 위해서 설계 되었다. *낮은 에너지는 가능하지만 반응의 불확실도는 증가 할 수 있다.

\*낮은 에너지는 가능하지만, 반응의 불확실도는 증가 할 수 있다.

ED3 Active Extremity Dosimeter에 사용되어지는 디텍터는 두가지로 ED3D1과 ED3D4이다.

Table 8. ED3 Active Extremity 검출기

	ED3D1	ED3D4
검출기	2개의 실리콘 다이오드	2개의 실리콘 다이오드
측정 방사선	Hp(0.07) 광자 측정 60 KeV ~ 1.25 MeV	감마, X-ray, 베타
용도	Hp(0.07) 광자 선량당량 측정에 적합	저에너지 광자, 고에너지 베타 Hp(0.07) 선량 당량 측정에 적합
선량 범위	0.0 $\mu$ Sv ~ 1 Sv Hp(0.07) (0.00 mrem ~ 100 rem)	0.0 $\mu$ Sv ~ 1 Sv Hp(0.07) (0.00 mrem ~ 100 rem)
선량 정확도	$\pm 20\%$ Cs-137 0.0 $\mu$ Sv/h ~ 100 mSv/h	0.3 $\mu$ Sv/h ~ 100 mSv/h
선량률 범위	Hp(0.07) (0.00 mrem/h ~ 10 rem/h)	Hp(0.07) (0.00 mrem/h ~ 10 rem/h)
선량률 정확도	$\pm 20\%$ Cs-137	
에너지 반응도	$\pm 30\%$ 60 keV ~ 1.25 MeV	X-ray 33 keV ~ 248 MeV
반응(응답) 시간	16초 < 735 $\mu$ Sv/h and 2초 < 735 $\mu$ Sv/h Hp(0.07)	16초 < 346 $\mu$ Sv/h and 2초 < 346 $\mu$ Sv/h Hp(0.07)
선형성	$\pm 20\%$	$\pm 20\%$
방향성	$\pm 30\%$	$\pm 30\%$
90Sr+90Y		0.31 베타 선량 Hp(0.07)
베타 반응도		
에너지 보상	Tin/lead 필터	
검출기 검출 면적	7mm <sup>2</sup>	7mm <sup>2</sup>
선량 온도 안정성	0 °C ~ 40 °C $\pm 20\%$	0 °C ~ 40 °C $\pm 20\%$
EMC	유럽규정 EMC 2004/108/EC 인 증	유럽규정 EMC 2004/108/EC 인 증
정기 점검	매년 교정 및 물리적 점검	매년 교정 및 물리적 점검

각각의 디텍터 ED3D1은 2개의 실리콘 다이오드로 구성되어 Hp(0.07) 말단선량에 대하여 60 keV ~ 1.25 MeV 까지 광자의 선량을 측정하는데 적합하다. ED3D4는 60 keV 이하의 저에너지 광자 및 고에너지 베타 측정에 적합하게 되어있다. 두 개의 디텍터는 각각의 에너지 별로 정하여 사용 할 수 있고 ICRP 103 보고서에 의하면 수정체를 측정할 때 말단선량의 알고리즘을 사용하여 측정 할 수 있도록 되어있다. 그래서 본 연구에서는 사용되어지는 핵종들이 60 keV ~ 1.25 MeV 사이의 광자를 방출하고 또한 말단선량의 알고리즘을 수정체에 사용 할 수 있다는 판단하에 말단선량 디텍터인



ED3D1을 사용하였다.

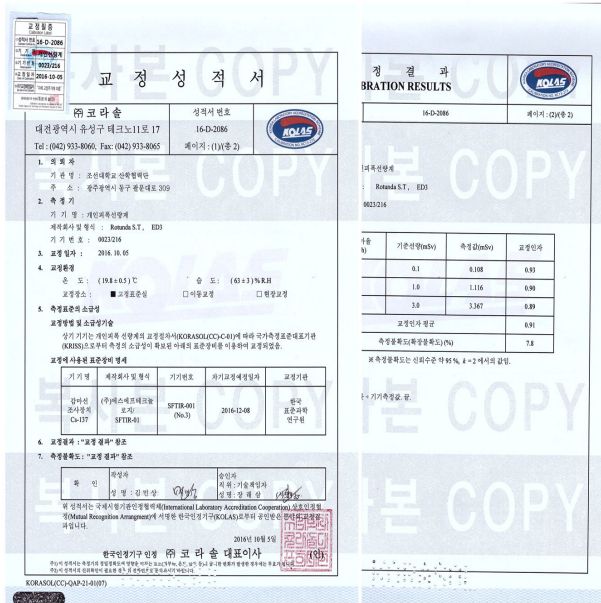


fig 1. ED3 교정서

ED3 Active Extremity Dosimeter를 한국표준과학연구원에서 지정해준 (주)코라솔에 감마선 조사장치를 이용하여 교정을 의뢰 하였다. 교정에 사용된 표준장비는 감마선조사장치 Cs-137을 이용하였고 (주)에스에프테크놀로지에서 개발한 SFTIR-01형식이다.

Table 9. ED3 교정결과

기준커마울 (mGy/h)	기준선량 (mSv)	측정값 (mSv)	교정인자
1.0	0.1	0.108	0.93
10.0	1.0	1.116	0.90
12.5	3.0	3.367	0.89
교정인자 평균			0.91
*측정불확도(확장불확도)(%)			7.8

\*측정불확도는 신뢰수준 약 95%, k = 2 에서의 값임.



핵의학과 분배업무에서 FDG의 경우 자동분주장치(Auto Dose Dispenser)를 이용하  
 기 때문에 핵의학과 방사선작업종사자가 직접 분배를 실시하지 않는다. 또한 Tc-99m  
 의 경우 차폐체인 L블럭을 이용하여 제너레이터(Generator)에서 추출하여 분배를 한  
 다.



fig 4. FDG 자동분주장치(Auto Dose Dispenser)



fig 5. Tc-99m L블럭 및 제너레이터(Generator)

핵의학과 방사선작업종사자가 환자에게 방사성동위원소 의약품을 주사하기 위하여  
 남으로 구성되어진 Injection Cart를 사용한다. 한편 차폐를 하지 않고 시간을 단축시  
 켜 주사를 하는 경우는 일반 책상에서 수행하는 경우도 있다.



fig 6. Injection Cart

다음 그림7은 ED3에 결합된 ED3D1 디텍터를 이용하여 얻어지는 데이터로 핵의학  
 과 방사선작업종사자의 분배 및 주사, 차폐의 유무, 사용된 방사성동위원소 의약품  
 을 시간별로 분석을 수행하였다. 이를 바탕으로 ED3 소프트웨어를 컴퓨터에 설치하여  
 측정되어진 데이터를 추출하여 핵의학과 방사선작업종사자의 평균 업무시간을 유추할  
 수 있고 또한 각 업무별 피폭선량을 판단할 수 있다. 분당 측정된 피폭선량 값들을  
 Count, Counts Per Second, Instaneous Doserate, Accumulated Dose를 그래프와 엑셀  
 로 보여준다.

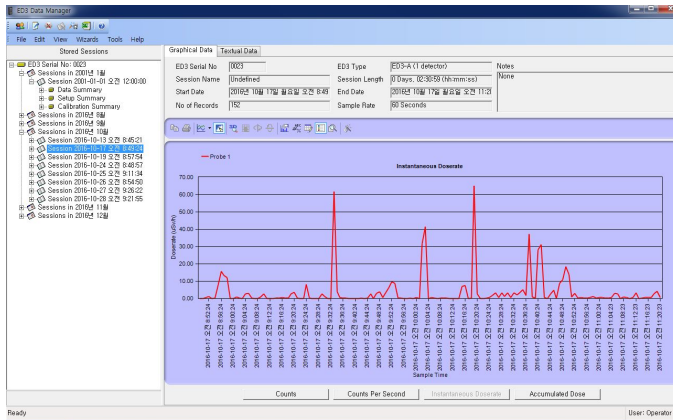


fig 7. ED3 Graphical Data

**ED3 Data Manager**  
 Graphical Data [Textual Data]  
 ED3 Serial No: 003  
 Session Name: [Undefined]  
 Start Date: 2016년 10월 17일 월요일 오전 9:24  
 No of Records: 192  
 ED3 Type: ED3-A(T detector)  
 Session Length: 0 Days, 00:30:58 (0h:mm:ss)  
 End Date: 2016년 10월 17일 월요일 오전 11:23  
 Sample Rate: 60 Seconds  
 Notes: None

Record No	Record Date	P1 Count	P1 CPS	P1 Instaneous DoseRate (uSv/h)	P1 Accumulated Dose (uSv)	Enabled
1	2016-10-17 9:24	0	0.0	0.000	0.000	<input checked="" type="checkbox"/>
2	2016-10-17 9:24	0	0.0	0.000	0.000	<input checked="" type="checkbox"/>
3	2016-10-17 9:24	3	0.1	0.195	0.612	<input checked="" type="checkbox"/>
4	2016-10-17 9:24	5	0.1	1.245	0.630	<input checked="" type="checkbox"/>
5	2016-10-17 9:24	0	0.0	0.000	0.630	<input checked="" type="checkbox"/>
6	2016-10-17 9:24	7	0.0	0.240	0.637	<input checked="" type="checkbox"/>
7	2016-10-17 9:24	26	0.4	7.440	0.517	<input checked="" type="checkbox"/>
8	2016-10-17 9:24	64	1.1	15.840	0.429	<input checked="" type="checkbox"/>
9	2016-10-17 9:24	56	0.9	13.440	0.564	<input checked="" type="checkbox"/>
10	2016-10-17 9:24	48	0.8	12.960	0.854	<input checked="" type="checkbox"/>
11	2016-10-17 9:24	0	0.0	0.000	0.854	<input checked="" type="checkbox"/>
12	2016-10-17 9:24	0	0.0	0.000	0.854	<input checked="" type="checkbox"/>
13	2016-10-17 9:24	4	0.1	0.840	0.816	<input checked="" type="checkbox"/>
14	2016-10-17 9:24	1	0.0	0.240	0.814	<input checked="" type="checkbox"/>
15	2016-10-17 9:24	0	0.0	0.000	0.814	<input checked="" type="checkbox"/>
16	2016-10-17 9:24	11	0.2	2.640	0.918	<input checked="" type="checkbox"/>
17	2016-10-17 9:24	12	0.2	2.640	0.968	<input checked="" type="checkbox"/>
18	2016-10-17 9:24	1	0.0	0.240	0.932	<input checked="" type="checkbox"/>
19	2016-10-17 9:24	0	0.0	0.000	0.932	<input checked="" type="checkbox"/>
20	2016-10-17 9:24	0	0.0	0.000	0.932	<input checked="" type="checkbox"/>
21	2016-10-17 9:24	4	0.1	0.840	0.968	<input checked="" type="checkbox"/>
22	2016-10-17 9:24	11	0.2	2.640	1.038	<input checked="" type="checkbox"/>
23	2016-10-17 9:24	0	0.0	0.000	1.038	<input checked="" type="checkbox"/>
24	2016-10-17 9:24	0	0.0	0.000	1.038	<input checked="" type="checkbox"/>

3 Rows Enabled     Display Gridlines    Max DoseRate (Enabled Values) P1 85.16 uSv/h  
 Edit Enabled Rows    Total Dose (Enabled Values) P1 8.451 uSv

Ready    User: Operator

fig 8. ED3 Textual Data

### 제3절. 통계분석방법

SPSS Program(Version 21.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하여 선원의 용량별 그리고 직무별로 나누어 측정값을 분석하였다.

SPSS Version 21.0을 이용하여 선원의 용량별 그리고 직무별 종사자가 받는 피폭선량을 평균과 표준편차, 최대값 및 최소값을 구해 각각의 평균 및 표준편차를 나타내는 기술통계분석을 실시하였다.

기술통계분석은 자료의 특성을 파악하기 위한 목적으로 사용되어지고, 집중경향치와 분산도 등의 통계치를 구할 수 있다. 이때 집중경향치는 점수들의 어떤 값을 중심으로 분포되어 있는지를 나타내며, 분산도는 점수들이 평균에서 얼마나 퍼져 있는지를 나타낸다. 집중경향치의 대표적인 값으로는 평균을, 분산도의 대표적인 값으로는 표준편차를 사용한다. 따라서 기술통계분석은 변수의 평균과 표준편차를 구하는 분석이라고 보아도 무방하다[19].

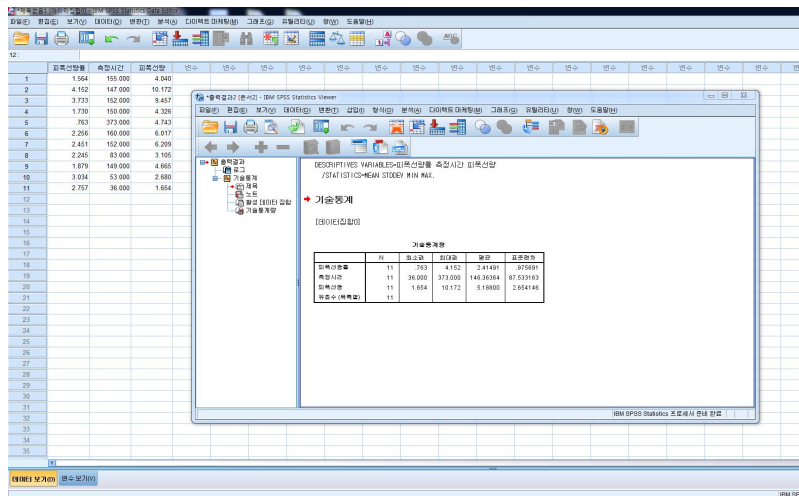


fig 9. SPSS Version 21.0

## 제4장. 결과

### 제1절. 종사자 수정체 피폭선량 평가

#### 1. 연간 수정체 예상 피폭선량

방사성의약품 I-123, Tc-99m, FDG를 사용하는 핵의학과 방사선작업종사자를 대상으로 수정체에 받는 예상 피폭선량을 ED3 선량계를 이용하여 측정해 보았고 각 작업종사자의 행위인 분배 및 주사 업무들이 각각 다르기 때문에 이 장에서는 핵의학과 방사선 작업종사자들의 피폭선량률을 알아보았다.

핵의학과 분배 및 주사 업무 시간은 하루 평균 146분(약 2.5시간) 이었으며, 하루 평균  $5.188 \pm 2.654 \mu\text{Sv}$ 를 피폭 받았고 B, C 종사자의 경우 다른 종사자의 2배정도 높은 피폭선량을 받았다. 이는 종사자가 취급하는 선원의 종류가 각각 다르고 근무의 행위가 다르다. 또한 B, C 방사선작업종사자의 경우 환자들에게 가장 많이 주사되어지는 Tc-99m을 분배 및 주사를 실시하였기 때문에 수정체에 받는 피폭선량이 높은 것으로 판단되어진다.

Table 10. 핵의학과 방사선작업종사자의 작업시간 동안의 피폭선량률

종사자	피폭선량률 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	작업시간 (min)	누적선량 ( $\mu\text{Sv}$ )	연간 피폭선량* (mSv)
A	1.564	155	4.040	1.010
B	4.152	147	10.172	2.543
C	3.733	152	9.457	2.364
D	1.730	150	4.326	1.081
E	0.763	373	4.743	1.185
F	2.256	160	6.017	1.504
G	2.451	152	6.209	1.552
H	2.245	83	3.105	0.776

I	1.879	149	4.665	1.166
J	3.034	53	2.680	0.670
K	2.757	36	1.654	0.413

Mean ± SD 2.414 ± 0.975 146.363 ± 87.533 5.188 ± 2.654 1.296 ± 0.663

\*핵의학과 방사선작업종사자가 연간 2000시간 하루 8시간 근무한다면 250일을 기준

## 2. 차폐여부에 따른 피폭선량 비교

핵의학과 방사선작업종사자들은 대부분이 차폐를 사용하였지만 가끔 시간의 단축을 이용하여 차폐를 하지 않고 업무를 하는 경우도 있기 때문에 수정체에 받는 피폭선량 측정하고 분석하였다. 이때 사용되어지는 차폐체는 L블럭을 사용하였다. 차폐를 사용하는 경우 B 종사자의 피폭선량률이 0.222  $\mu\text{Sv}/\text{min}$ 으로 가장 높게 나타났으며 D 종사자는 0.027  $\mu\text{Sv}/\text{min}$ 로 가장 낮게 나타났다. 차폐를 사용하지 않는 경우 B 종사자의 피폭선량률이 0.554  $\mu\text{Sv}/\text{min}$ 로 가장 높게 나타났으며 J 종사자의 피폭선량률이 0.029  $\mu\text{Sv}/\text{min}$ 로 가장 낮게 나왔다. 핵의학과 방사선작업종사자의 행위인 분배 및 주사 업무들이 다르나 차폐를 사용할 경우보다 차폐를 미사용할 경우 더 적은 건수를 하였기 때문에 차폐 방사선 방호를 최적화하기 위해 업무를 할 때 차폐가 이루어져야 된다고 판단된다.

Table 11. 핵의학과 방사선작업종사자의 차폐사용 유무 (단위 : $\mu\text{Sv}/\text{min}$ )

종사자	차폐 사용	차폐 미사용
A	0.161	0.100
B	0.222	0.554
C	0.102	0.509
D	0.027	0.140
E	0.156	0.177
F	0.052	0.056
G	0.051	-
H	0.040	0.339
I	0.073	0.142
J	0.024	0.029
K	0.128	-



### 3. 분배 및 주사에 따른 피폭선량 비교

핵의학과 방사선작업종사자들의 세부적인 업무를 파악해본다면 분배 및 주사로 나눌 수가 있다. 이때 방사선작업종사자의 업무별로 수정체에 받는 피폭선량 측정하고 분석하였다. 측정시간동안 분배업무를 할 경우 평균 피폭선량률은  $0.113 \pm 0.103 \mu\text{Sv}/\text{min}$  이고 그 중 B 종사자가  $0.309 \mu\text{Sv}/\text{min}$ 으로 가장 높게 나타났으며 H 종사자는  $0.010 \mu\text{Sv}/\text{min}$ 로 가장 낮게 나타났다. 주사 업무를 할 경우 평균 피폭선량률은  $0.136 \pm 0.061 \mu\text{Sv}/\text{min}$  이고 그 중 H 종사자가  $0.239 \mu\text{Sv}/\text{min}$ 로 가장 높게 나타났으며 F 종사자가  $0.075 \mu\text{Sv}/\text{min}$ 로 가장 낮게 나왔다. 핵의학과 방사선작업종사자의 업무별로 파악을 해 보면 I-123을 사용할 때 경구투입업무가 있는데 그 업무 또한 분배작업으로 설정했다. 또한 매일 건수가 다르고 다루는 선원들이 각 핵의학과 방사선작업종사자들이 다르다.

Table 12. 핵의학과 방사선작업종사자의 업무별 피폭선량률 (단위 : $\mu\text{Sv}/\text{min}$ )

종사자	분배	주사
A	0.161	0.100
B	0.309	0.133
C	0.166	0.227
D	0.020	0.145
E	0.156	0.177
F	0.047	0.075
G	0.022	0.080
H	0.010	0.239
I	0.074	0.121
J	0.025	-
K	0.257	0.064

#### 4. 분배 업무할 때 차폐여부에 따른 피폭선량 비교

핵의학과 방사선작업종사자들의 분배 업무 할 때 차폐의 유무 따라 핵의학과 방사선 작업종사자들의 수정체에 받는 피폭선량 측정하고 분석하였다. 차폐하고 분배를 할 경우 B 종사자가 0.309  $\mu\text{Sv}/\text{min}$ 으로 가장 높게 나타났으며 H 종사자는 0.010  $\mu\text{Sv}/\text{min}$ 로 가장 낮게 나타났다. 차폐체를 사용하지 않고 분배 할 경우 A 종사자가 0.161  $\mu\text{Sv}/\text{min}$ 로 가장 높게 나타났으며 D 종사자가 0.026  $\mu\text{Sv}/\text{min}$ 로 가장 낮게 나왔다. 방사성동위원소 의약품을 분배할 때 I-123의 경우에는 차폐를 하거나 안하는 경우도 있고 그리고 Tc-99m은 차폐를 한 상태에서 분배를 실시하고 FDG의 경우는 자동분주장치 (Auto Dose Dispenser)를 사용하여 분배를 실시한다. 이때 차폐를 하였더라도 종사자들의 업무가 일정하지 못하고 또한 Tc-99m을 제너레이터(Generator)에서 많은 양을 추출해서 분배대에 비치해 두기 때문에 방사선작업종사자의 피폭선량이 높을 수도 있다고 판단되어 진다.

Table 13. 방사성동위원소 의약품 분배할 때 차폐 유무 (단위 : $\mu\text{Sv}/\text{min}$ )

종사자	차폐 사용	차폐 미사용
A	0.161	-
B	0.309	-
C	0.166	-
D	0.023	0.026
E	0.156	-
F	0.040	0.058
G	0.022	-
H	0.010	-
I	0.074	-
J	0.024	0.029
K	0.241	-

## 5. 주사 업무할 때 차폐여부에 따른 피폭선량 비교

핵의학과 방사선작업종사자들의 주사 업무 할 때 차폐의 유무 따라 핵의학과 방사선 작업종사자들의 수정체에 받는 피폭선량 측정하고 분석하였다. 차폐체를 두고 주사 할 경우 H 종사자가 0.139  $\mu\text{Sv}/\text{min}$ 으로 가장 높게 나타났으며 C 종사자는 0.035  $\mu\text{Sv}/\text{min}$ 로 가장 낮게 나타났다. 차폐체를 사용하지 않았고 주사 할 경우 B 종사자가 0.554  $\mu\text{Sv}/\text{min}$ 로 가장 높게 나타났으며 A 종사자가 0.100  $\mu\text{Sv}/\text{min}$ 로 가장 낮게 나왔다. 핵의학과 방사선작업종사자는 각각 업무가 다르기 때문에 데이터를 분석해본 결과 주사를 하지 않은 경우도 있다. 그리고 주사를 할 때 Injection Cart를 사용하여 차폐 하는 경우 피폭선량이 낮게 받는 것으로 판단되어진다.

Table 14. 방사성동위원소 의약품 주사할 때 차폐 유무 (단위 : $\mu\text{Sv}/\text{min}$ )

종사자	차폐체 사용	차폐체 미사용
A	-	0.100
B	0.077	0.554
C	0.050	0.509
D	0.035	0.330
E	-	0.177
F	0.075	-
G	0.080	-
H	0.139	0.339
I	0.070	0.142
J	-	-
K	0.064	-

## 제2절. 선원별 피폭선량 평가

### 1. 선원별 피폭선량 평가

ED3를 이용하여 핵의학과 방사선작업종사자가 환자를 검사할 때 쓰이는 방사성동위원소 의약품인 I-123, Tc-99m, FDG를 사용할 모든 경우에 대하여 수정체 피폭선량률을 분석하였다.

I-123을 분배할 때 평균 피폭선량률은  $0.028 \pm 0.012 \mu\text{Sv}/\text{min}$  이고 경구투여의 경우  $0.029 \pm 0.013 \mu\text{Sv}/\text{min}$  이며 분배와 경구투여가 같이 이루어질 경우  $0.125 \pm 0.086 \mu\text{Sv}/\text{min}$  이다. Tc-99m을 분배할 때 평균 피폭선량률은  $0.608 \pm 0.826 \mu\text{Sv}/\text{min}$  이고 주사할 때 차폐를 사용하는 경우  $0.108 \pm 0.059 \mu\text{Sv}/\text{min}$  이며 차폐를 사용하지 않는 경우  $0.914 \pm 0.364 \mu\text{Sv}/\text{min}$  이다. FDG를 분배할 때 평균 피폭선량률은  $0.147 \pm 0.170 \mu\text{Sv}/\text{min}$  이고 주사할 때 차폐를 사용하는 경우  $0.182 \pm 0.102 \mu\text{Sv}/\text{min}$  이며 차폐를 사용하지 않은 경우  $0.549 \pm 0.314 \mu\text{Sv}/\text{min}$  이다. I-123의 경우 분배하고 바로 경구투여 할 때 경우에 수정체의 피폭선량이 높고 Tc-99m의 경우 주사업무를 할 때 차폐를 하는 경우에 피폭선량이 낮다.

Table 15. 선원별 피폭선량

선원	업무	피폭선량( $\mu\text{Sv}/\text{회}$ )
I-123	분배	$0.028 \pm 0.012$
	경구투여	$0.029 \pm 0.013$
	분배 + 경구투여	$0.125 \pm 0.086$
Tc-99m	분배	$0.608 \pm 0.826$
	주사할 때 차폐 사용	$0.108 \pm 0.059$
	주사할 때 차폐 미사용	$0.914 \pm 0.364$
FDG	분배	$0.147 \pm 0.170$
	주사할 때 차폐 사용	$0.182 \pm 0.102$
	주사할 때 차폐 미사용	$0.549 \pm 0.314$

## 2. 각 선원별 1 mCi 환산

핵의학과 방사선작업종사자가 분배 및 주사할 때 쓰는 선원의 투여량이 각각 다르기에 따라 받는 피폭선량이 다르다. 또한 차폐의 유무에 따라 피폭선량이 다르기 때문에 선원의 투여량에 대하여 1 mCi 당 얼마만큼의 피폭선량을 받는지에 대하여 분석하여 보았다. 방사선작업종사자의 분배 업무에서도 분배와 경구 투여로 크게 두 가지로 분리할 수 있고 분배는 차폐가 이루어진 상태이며 경구 투여는 환자에게 분배된 I-123을 주고 옆에서 지켜보므로 차폐가 되지 않는다고 설정한다. 이때 분배하였을 경우 1 mCi 당 평균 피폭선량은  $0.005 \pm 0.002 \mu\text{Sv/mCi}$  이고 5.74, 5.63 mCi를 분배 할 때  $0.008 \mu\text{Sv/mCi}$ 로 가장 높게 나타났으며 5.66 mCi를 분배할 때  $0.002 \mu\text{Sv/mCi}$ 로 가장 낮게 나타났다. 피폭선량은 많이 차이가 없지만 많은 양을 투입하였을 때 조금 더 높은 피폭선량을 받아야 하지만 작업시 핵의학과 방사선작업종사자의 특별한 행위로 더 낮게 받을 수 있다고 판단되어진다. 경구 투여의 경우 1 mCi 당 평균 피폭선량은  $0.005 \pm 0.002 \mu\text{Sv/mCi}$  이고 5.76, 5.70 mCi를 경구 투여 하였을 때  $0.008 \mu\text{Sv/mCi}$ 로 가장 높게 나타났으며 5.61 mCi를 경구 투여 하였을 때  $0.001 \mu\text{Sv/mCi}$ 로 가장 낮게 나타났다. 분석해 본 결과 핵의학과 방사선작업종사자가 I-123을 분배 및 경구 투여할 때 1 mCi당 수정치 피폭선량은 같다고 판단된다.

Table 16. I-123을 분배 및 경구 투여했을 때 1 mCi로 환산

선원	투여량 (mCi/회)	피폭선량 ( $\mu\text{Sv}/\text{회}$ )	분배 ( $\mu\text{Sv}/\text{mCi}$ )	피폭선량 ( $\mu\text{Sv}/\text{회}$ )	경구 ( $\mu\text{Sv}/\text{mCi}$ )
I-123	5.76	0.025	0.004	0.045	0.008
	5.59	0.015	0.003	0.014	0.003
	5.66	0.012	0.002	0.029	0.005
	5.74	0.047	0.008	0.034	0.006
	5.77	0.022	0.004	0.039	0.007
	5.63	0.047	0.008	0.027	0.005
	5.61	0.035	0.006	0.008	0.001
	5.70	0.025	0.004	0.020	0.004
	5.70	0.025	0.004	0.045	0.008
	Mean $\pm$ SD	$5.68 \pm 0.06$	$0.028 \pm 0.012$	$0.005 \pm 0.002$	$0.029 \pm 0.013$

I-123을 분배하고 바로 환자에게 경구 투여를 하는 경우도 종종 있어서 따로 나누어 측정해 보았을 때 1 mCi 당 평균 피폭선량은  $0.005 \pm 0.002 \mu\text{Sv/mCi}$  이고 5.74, 5.63 mCi를 분배 할 때 가장 높게 나타났으며 5.66 mCi를 분배할 때 가장 낮게 타나났다. 이때도 마찬가지로 핵의학과 방사선작업종사자의 행위와 환자와의 대화 및 여러 가지 조건에 따라 1 mCi 당 방사선작업종사자가 받는 피폭선량이 다르다고 판단되어진다.

Table 17. I-123을 동시투여 했을 때 1 mCi로 환산

선원	투여량 (mCi/회)	피폭선량 ( $\mu\text{Sv}/\text{회}$ )	분배 + 경구 ( $\mu\text{Sv}/\text{mCi}$ )
I-123	5.81	0.033	0.006
	5.49	0.031	0.006
	5.71	0.023	0.004
	5.73	0.186	0.032
	5.88	0.192	0.033
	5.37	0.060	0.011
	5.49	0.260	0.047
	5.59	0.210	0.038
	5.59	0.153	0.027
	5.36	0.105	0.020
Mean $\pm$ SD	$5.60 \pm 0.17$	$0.125 \pm 0.086$	$0.022 \pm 0.015$

Tc-99m은 방사성동위원소 의약품 중 핵의학과에서 가장 많이 쓰이는 선원이다. 이는 결국 환자들이 많으므로 분배업무를 하는 핵의학과 방사선작업종사자가 대기하는 환자들의 편의를 위해서 한번에 많은 양을 분배한다. Tc-99m을 분배할 때 항상 차폐를 실시한다. 1 mCi 당 분배할 때 평균 피폭선량은  $0.005 \pm 0.001 \mu\text{Sv/mCi}$  이고 최대 32 mCi 투여할 때  $0.007 \mu\text{Sv/mCi}$ 로 가장 높고 33 mCi를 투여할 때  $0.002 \mu\text{Sv/mCi}$ 로 가장 낮다. Tc-99m을 360 mCi 또는 370 mCi는 제너럴레이터(Generator)에서 뽑아서 바로 차폐체를 앞에 두고 분배하기 때문에 많은 양을 분배할 때 피폭선량이 더 높으나 1 mCi로 환산했을 경우 피폭선량이 일정하다.

Table 18. Tc-99m 분배할 때 1 mCi로 환산

선원	투여량 (mCi/회)	피폭선량 ( $\mu\text{Sv/회}$ )	분배 ( $\mu\text{Sv/mCi}$ )
Tc-99m	32	0.172	0.005
	32	0.217	0.007
	360	1.736	0.005
	370	2.132	0.006
	32	0.180	0.006
	32	0.137	0.004
	33	0.078	0.002
	35	0.217	0.006
	Mean $\pm$ SD	115 $\pm$ 153	0.608 $\pm$ 0.826

Tc-99m을 주사할 때 차폐체를 사용하였을 경우 평균 피폭선량은  $0.003 \pm 0.001 \mu\text{Sv/mCi}$  이고 투여량이 일정하기 때문에 33 mCi 주사하였을 때  $0.007 \mu\text{Sv/mCi}$  가장 높았다. 이때 비슷하게 나왔지만 핵의학과 방사선작업종사자가 차폐를 하고 선원과의 거리를 더욱 가깝게 하거나 선원의 양을 조절하기 위하여 반복의 이유로 인하여 차이가 난다고 판단되어진다. Tc-99m을 주사할 때 차폐체를 사용하지 않았을 경우 평균 피폭선량은  $0.030 \pm 0.007 \mu\text{Sv/mCi}$  이고  $0.037 \mu\text{Sv/mCi}$ 이 가장 높고  $0.018 \mu\text{Sv/mCi}$ 이 가장 낮게 나타났다. 이러한 차이를 보이는 이유는 핵의학과 방사선작업종사자의 행위에 있어서 차이가 난다고 판단되어지고 차폐를 하지 않았을 경우가 더 높게 나타난다.

Table 19. Tc-99m을 주사할 때 차폐 유무 1 mCi 환산

선원	투여량 (mCi/회)	피폭선량 ( $\mu$ Sv/회)	차폐체 사용 ( $\mu$ Sv/mCi)	투여량 (mCi/회)	피폭선량 ( $\mu$ Sv/회)	차폐체 미사용 ( $\mu$ Sv/mCi)
Tc-99 m	32	0.086	0.003	32	1.107	0.035
	32	0.057	0.002	32	1.095	0.034
	32	0.045	0.001	32	1.226	0.037
	32	0.155	0.005	33	1.132	0.034
	32	0.074	0.002	33	0.654	0.020
	32	0.069	0.002	33	0.989	0.030
	32	0.020	0.001	11	0.200	0.018
	32	0.069	0.002	-	-	-
	32	0.061	0.002	-	-	-
	32	0.110	0.003	-	-	-
	32	0.143	0.004	-	-	-
	33	0.245	0.007	-	-	-
	33	0.147	0.004	-	-	-
	Mean	32.15 $\pm$	0.108 $\pm$	0.003 $\pm$	29.42 $\pm$	0.914 $\pm$
$\pm$ SD	0.37	0.059	0.001	8.14	0.364	0.007



FDG을 분배시에는 직접 분배하는게 아니라 자동분주장치(Auto Dose Dispenser)을 이용하여 분배한다. 평균 피폭선량은  $0.020 \pm 0.023 \mu\text{Sv}$  이고 8.25 mCi를 투여하였을 때  $0.087 \mu\text{Sv/mCi}$ 로 가장 높고 6.45, 9.77 mCi를 투여하였을 때  $0.004 \mu\text{Sv/mCi}$ 로 가장 낮게 나타났다. 이는 분배할 때 자동분주장치(Auto Dose Dispenser)을 사용하므로 분배할 때 피폭을 받지 않고 핵의학과 방사선작업종사자가 분배된 FDG를 이동하는 행위로 받는 피폭선량이라고 판단되어진다.

Table 20. FDG을 분배할 때 1 mCi로 환산

선원	투여량 (mCi/회)	피폭선량 ( $\mu\text{Sv/회}$ )	분배 ( $\mu\text{Sv/mCi}$ )
FDG	7.81	0.139	0.018
	6.39	0.078	0.012
	8.18	0.033	0.004
	8.96	0.135	0.015
	5.59	0.400	0.072
	6.03	0.368	0.061
	9.57	0.221	0.023
	10.28	0.098	0.010
	7.63	0.061	0.008
	6.45	0.029	0.004
	7.94	0.037	0.005
	9.77	0.041	0.004
	8.22	0.053	0.006
	4.14	0.045	0.011
	7.13	0.025	0.003
	11.29	0.037	0.003
	8.82	0.233	0.026
	5.90	0.196	0.033
5.43	0.090	0.017	
9.63	0.053	0.006	
8.25	0.719	0.087	
Mean $\pm$ SD	7.78 $\pm$ 1.82	0.147 $\pm$ 0.170	0.020 $\pm$ 0.023

FDG을 주사할 때 차폐체를 사용하여 측정해보면 평균 피폭선량은  $0.023 \pm 0.011 \mu\text{Sv/mCi}$  이고 3.85, 10.76 mCi 주사했을 때  $0.039 \mu\text{Sv/mCi}$ 로 가장 높고 7.74 mCi 주사했을 때  $0.009 \mu\text{Sv/mCi}$ 로 가장 낮게 나타났다. FDG을 주사할 때 차폐를 사용하지 않고 측정해보면 평균 피폭선량은  $0.086 \pm 0.033 \mu\text{Sv/mCi}$  이고 6.76 mCi 주사했을 때  $0.150 \mu\text{Sv/mCi}$ 로 가장 높고 5.14, 5.63 mCi 주사했을 때  $0.060 \mu\text{Sv/mCi}$ 로 가장 낮다. 이러한 차이를 보이는 이유는 핵의학과 방사선작업종사자의 행위에 있어서 차이가 난다고 판단되어지고 차폐를 하지 않았을 경우가 더 높게 나타났다.

Table 21. FDG을 주사할 때 차폐 유무 1 mCi로 환산

선원	투여량 (mCi/회)	피폭선량 ( $\mu\text{Sv}/\text{회}$ )	차폐체 사용 ( $\mu\text{Sv}/\text{mCi}$ )	투여량 (mCi/회)	피폭선량 ( $\mu\text{Sv}/\text{회}$ )	차폐체 미사용 ( $\mu\text{Sv}/\text{mCi}$ )
FDG	7.47	0.082	0.011	8.81	0.997	0.113
	6.39	0.098	0.015	5.13	0.437	0.085
	8.00	0.139	0.017	5.14	0.306	0.060
	9.33	0.143	0.015	5.63	0.380	0.067
	9.98	0.331	0.033	6.76	1.017	0.150
	7.35	0.135	0.018	5.63	0.339	0.060
	6.36	0.221	0.035	5.36	0.372	0.069
	7.63	0.245	0.032			
	9.46	0.155	0.016			
	7.78	0.090	0.012			
	3.85	0.151	0.039			
	10.76	0.417	0.039			
	8.35	0.139	0.017			
	9.19	0.315	0.034			
	7.74	0.069	0.009			
Mean $\pm$	7.97 $\pm$	0.182 $\pm$	0.023 $\pm$	6.07 $\pm$	0.549 $\pm$	0.086 $\pm$
SD	1.69	0.102	0.011	1.33	0.314	0.033

## 제5장. 결론

본 연구에서는 국제방사선방호위원회에서 수정체 피폭선량에 대하여 5년 동안 평균 20 mSv, 그리고 한 해에 50 mSv를 넘지 않아야 한다고 제시하여 각 국가들이 점차적으로 수정체 피폭선량에 대해 하양조정을 하고 있으므로 우리나라도 이에 맞춰 방사선작업종사자의 수정체 피폭선량을 맞춰가야 된다고 생각된다. 이 논문에서는 모든 방사선작업종사자가 아닌 방사성동위원소 의약품을 직접적으로 사용하면서 수정체에 피폭이 우려되고 영향을 미칠 것으로 사료된다. 이에 따라 ED3(Active Extremity Dosimeter)을 이용하여 수정체의 피폭선량을 측정하고 ①업무별 ②차폐의 유무 ③선원별로 분석하였다.

핵의학과 방사선작업종사자가 직접적으로 방사성동위원소 의약품을 사용하는 분배와 주사 업무의 경우 평균 약 2.5시간을 고려하면 하루 평균 피폭선량률은  $6.035 \pm 2.437 \mu\text{Sv}/2.5\text{h}$  이다. 또한 연간 핵의학과 방사선작업종사자는 연간 2000시간 하루 8시간을 근무하면 근무일은 250일로 계산되어 각 작업종사자의 연간 피폭선량률은 0.413 ~ 2.543 mSv/y의 범위를 나타낸다.

선원별로 정리해 보면 I-123의 분배 및 경구투여 그리고 분배후 바로 경구투여 할 때 1 mCi 당  $0.005 \pm 0.002 \mu\text{Sv}/\text{mCi}$ , 경구투여할 때  $0.005 \pm 0.002 \mu\text{Sv}/\text{mCi}$ , 분배와 경구투여를 바로 할 때  $0.022 \pm 0.015 \mu\text{Sv}/\text{mCi}$ 로 바로 분배후 경구투여를 할 경우 더 높은 피폭을 받게 된다. Tc-99m의 분배 및 주사할 때 차폐의 유무에 대해 1 mCi 당  $0.005 \pm 0.001 \mu\text{Sv}/\text{mCi}$ , 주사할 때 차폐 사용시  $0.003 \pm 0.001 \mu\text{Sv}/\text{mCi}$ , 차폐 미사용시  $0.030 \pm 0.007 \mu\text{Sv}/\text{mCi}$ 로 차폐를 사용하지 않고 주사를 할 경우 높게 나왔다. FDG의 분배 및 주사할 때 차폐의 유무에 대해 1 mCi 당  $0.020 \pm 0.023 \mu\text{Sv}/\text{mCi}$ , 주사할 때 차폐 사용시  $0.023 \pm 0.011 \mu\text{Sv}/\text{mCi}$ , 차폐 미사용시  $0.086 \pm 0.033 \mu\text{Sv}/\text{mCi}$  이다. 이에 본 연구에서 제시한 1 mCi당 방사성동위원소 의약품들이 발생시키는 피폭선량을 이용하여 핵의학과 방사선작업종사자가 분배 및 주사업무를 할 때 Dose Calibrator를 이용하여 작업종사자의 피폭선량을 예측할 수 있다.

이러한 점들을 살펴보았을 때 핵의학과 방사선작업종사자가 분배 및 주사업무를 할

때 연간 피폭선량이 높지는 않지만 이는 분배 및 주사 업무를 국한되어 있기 때문에 환자와의 접촉 및 다른 검사 등 많은 일이 있기 때문에 수정체에 더 많은 피폭선량이 누적될 것으로 예상되고 지속적으로 수정체에 피폭을 받는다면 수정체 혼탁 및 백내장을 일으킬 수 있다고 예상되어진다. 비록 핵의학과 방사선작업종사자들이 영리의 목적으로 의료행위를 하지만 5년 동안 평균 20 mSv, 그리고 한 해에 50mSv를 넘지 않게 ICRP 권고를 따라가야 된다고 생각된다. 이에 방사선안전관리자가 핵의학과 방사선작업종사자의 업무를 통일되게 관리해야 된다고 생각된다. 또한 관련 규제기관에서 지속적으로 핵의학과 방사선작업종사자 뿐만 아니라 모든 방사선작업종사자들의 수정체 피폭선량을 꾸준히 관리해야 된다고 생각한다.

## 참고문헌

- [1] 원자력안전법 시행령. 교육과학기술부. 2011
- [2] International Commission on Radiological Protection. The 2007 recommendations of the international commission on radiological protection. ICRP Publication 103. Oxford; Pergamon Press. 2007.
- [3] 2007년 국제방사선방호위원회 권고 ICRP 간행물 103, 대한방사선방어학회, 이재기
- [4] International Commission on Radiological Protection. Statement on Tissue Reactions. June 2011.
- [5] International Atomic Energy Agency. Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards. General Safety Requirements Part3 No. GSR Part3 (Interim). Vienna. 2011.
- [6] e-나라지표 압등록통계  
[http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx\\_cd=2770](http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=2770)
- [7] 2014년 원자력안전연감. 2015 (발간등록번호 11-1079960-000001-10)
- [8] 2012년도 방사선이용통계. 한국동위원소협회. 2013
- [9] 국가방사선작업종사자안전관리센터 (<http://kiso.kins.re.kr/>)
- [10] International Commission on Radiological Protection. ICRP Statement on Tissue Reactions and Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs-Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. ICRP Publication 118. Oxford; Pergamon Press. 2012.
- [11] yeong-hwan ryu, min-yeoung seo and kyeong-rae dong: Survey of Awareness on the Exposure Dose of Extremity and Eye Lens by Radiation Worker in Nuclear Medicine Department ,2015
- [12] Korean Association for radiation application, 방사선취급기술기초, pp.29-30, 2000
- [13] Nuclear Training& education center, 방사선 장해와 방호, pp.83-84, 2009
- [14] Nuclear Training& education center, 방사선 장해와 방호, pp.89, 2009
- [15] Nuclear Training& education center, 방사선 장해와 방호, pp.90, 2009
- [16] PRINCIPLES OF RADIATION PROTECTION, 방사선방호원론, pp.281-282, 2016

- [17] S. E. Peters and P. C. Brennan, "Digital radiography, are the manufactures's settings too high?", Optimization of the Kodak digital radiography system with aid of the computed radiography dose index, Eur Radio, Vol.12, pp.2381-2387, 2002
- [18] Nuclear Training& education center, 방사선 장해와 방호, pp.76, 2009
- [19] 혼자서 완성하는 통계분석, 김효창, 112p, 2015

## 감사의 글

기대와 설렘을 가지고 대학원 생활을 시작한 게 어제 같은데 어느덧 대학원 생활의 결실인 논문을 바라보고 있으니 기쁨과 아쉬움 그리고 그 동안 저에게 도움을 주신 많은 분들이 생각납니다.

대학원 생활동안 보잘 것 없는 실력을 가지고 있는 저를 받아주시고 논문 테마부터 논문이 완성되기 까지 관심을 가져주시고 질타와 격려를 아끼지 않으신 정운관 지도교수님께 진심으로 감사드리며, 논문을 심사해주신 이경진 교수님, 송종순 교수님께도 감사 인사드립니다. 그리고 늘 지켜봐주시고 학업에 대한 조언을 해주신 나만균 교수님, 김진원 교수님께도 감사의 마음을 드립니다.

논문을 준비하는 저에게 많은 도움을 주신 동고동락을 하며 도움과 격려를 해주신 동경래 교수님, 강경원 선생님, 용진이형, 한이형, 남희누나 그리고 실험실 선배님들 그리고 대학원 학업을 같이하며 도움을 준 선배님들과 동기들에게 깊은 감사를 드립니다.

마지막으로 항상 옆에서 도움을 주는 동생 하동이 그리고 항상 저에게 응원해주시고 믿고 기다려주시며 지켜주시고 항상 힘이 되어주시는 아버지와 어머니께 고마움과 사랑한다는 말을 전하고 싶습니다.

저는 이제 막 석사학위를 받았지만 아직 앞길은 멀고 험난할 것으로 생각합니다. 그러나 이제까지 저에게 도움을 주시고 이끌어 주신 분들을 믿으며 앞으로도 잘 해나갈 수 있을 것이라고 믿습니다. 이제, 오늘을 발판으로 한 걸음 더 나아가기 위해 언제나 최선을 다하는 내일이 되도록 열심히 노력 할 것을 약속드립니다.

항상 지켜봐주시고 걱정해주시는 모든 분들에게 감사드립니다.

2016년 12월  
송 하 진 올림.