

방사선 누설선량 조사를 통한 방어시설과 누설선량 평가방법에 대한 문제점 연구 : 부산, 경남 지역 CT실을 중심으로

Indicating the Problem of Shielding Design and the Way of Estimating Radiation
Leakage for CT Rooms located through Survey of Radiation Leakage :
in the case of Busan and Gyung-nam Area

양원석*, 최준혁**, 신운재***, 민병인****

동아대학교병원*, 인제대학교 방사선방재센터**, 동의과학대학교 방사선학과***, 인제대학교 원자력응용공학부****

Won Seok Yang(ywsuck@naver.com)*, Jun-Hyeok Choi(radio@inje.ac.kr)**,
Woon-Jae Shin(wjshin@dit.ac.kr)***, Byung-In Min(rimbi@inje.ac.kr)****

요약

이 연구는 CT(computed tomography)검사 중 발생하는 방사선 누설선량(radiation leakage)으로부터 종사자 및 일반인의 피폭을 최소화하기 위한 것이다. 부산, 경남에 위치한 대학병원 7곳과 종합전문요양병원 4곳의 CT실을 대상으로 하였다. 누설선량 측정 장소로는 1) 조정실 내 감시창 벽면의 지면으로부터 3 m 높이 2) 조정실 내 특정 지점 3) 조정실 내 종사자 출입문 4) 환자 출입문을 선정하였다. 그 결과 M병원의 종사자 출입문에서 가장 높은 누설선량이 나타났다. 각각의 측정값은 고전적 방법에 의한 주당 최대 누설선량으로 환산하였다. 그 결과 1) 5.97 ± 0.23 , 2) 0.50 ± 0.02 , 3) 10.00 ± 0.11 , 4) 2.37 ± 0.47 mR/week로 주당 최대 누설선량 허용치(<100 mR/week)이하였다. 하지만 측정 최대 누설선량을 기록한 M병원의 조정실 내 종사자 출입문을 실험적 방법으로 계산한 결과 118.31 ± 17.72 mR/week(>100 mR/week)로 나타났다. 조정실 지면으로부터 3 m 이상의 높이에서의 누설선량은 조정실내부에 영향을 끼쳤다($p < 0.05$). 따라서, 누설선량의 피해를 줄이기 위해, 주당 최대 누설선량 산출 방법에 대한 개선과, 조정실 차폐벽의 차폐체를 3 m 이상으로 할 것을 제안 한다.

■ 중심어 : | 방사선 누설선량 | CT실 | 주당 최대 누설 선량 |

Abstract

The purpose of this study is to minimize radiation exposure to the workers and public members during CT examination. The objects are seven of the CT rooms in university hospitals and four of the CT rooms in clinics located in Busan and Gyung-nam area. The places of measurement for radiation leakage are 1) 3 m above the ground of shielding wall in the control room 2) particular space in the control room 3) worker's gate in the control room 4) the patient gate. Its values were calculated maximum leakage radiation per week(MLRW). As a result, the worker's gate of M clinic displayed the highest dose. When it was calculated by MLRW in classic method, it showed 1) 5.97 ± 0.23 , 2) 0.50 ± 0.02 , 3) 10.00 ± 0.11 , 4) 2.37 ± 0.47 mR/week. All of them did not exceed limit for maximum permissible dose per week(MPDW). However, When MLRW of M clinic was calculated by empirical method, its value displayed 118.31 ± 17.72 mR/week.(MPDW>100 mR/week). Radiation leakage influenced in the control room($p < 0.05$). Therefore, The way of calculating MLRW must be developed and shielding wall in control room is designed 3 m above the ground for reducing dangerous of leakage radiation.

■ keyword : | Radiation Leakage | CT Room | Maximum Leakage Radiation Per Week |

I. 서론

CT(Computed Tomography)기술의 발전으로 CT의 임상적인 유용성이 크게 증가되었고, 이로 인해 검사 건수가 급속히 증가되었다. 우리나라는 2009년 CT설치 대수 1,724대이고 OECD(Organization for Economic Cooperation and Development)국가 중 3위이며, 사용 빈도 증가 추세가 다른 선진 국가들보다 높다[1]. CT의 경우 의료법 제 37조에 따라 의료기관에서 설치, 운영하는 진단용 방사선 발생 장치를 안전하게 관리함으로써 환자 및 방사선 관계종사자가 방사선으로 인하여 위해를 입는 것을 방지하고 진료의 적정성을 도모하기 위해 필요한 사항을 규정하고, 진단용 방사선 발생장치의 안전관리 규칙에 따라 법적인 규제를 하고 있다[2]. 이러한 규칙과 법적인 규제에도 불구하고, 2008년도의 방사선 관계 종사자 전체 집단에서 방사선사 집단이 방사선에 가장 많이 노출되었다. 이에 의료기관 내 방사선 피폭 선량과 관련한 연구가 검사실 내부와 개인피폭선량을 중심으로 이루어졌다[3][4]. 그 결과 2008년도의 집단 유효선량 22,664.09 man·mSv는 2007년의 집단 유효선량 22,593.28 man·mSv보다 0.3% 높았다. 연간 평균 피폭선량은 1.42 mSv에서 1.33 mSv로 6.3% 감소하였으나 방사선사의 연간 평균 피폭선량은 다른 종사자 집단과 비교했을 때 가장 높은 수준이다. 이는 방사선 사들이 받은 방사선량의 평균적인 수준이 다른 종사자들보다 높다는 것을 의미한다. 또한 2008년도 직종별, 분기별 주의 조치자(>5 mSv) 현황을 보면 의료기관 종사자 중 방사선사가 차지하는 비중이 79.0% ~ 83.2%로서 가장 많이 차지하고 있었으며, 그 다음으로는 의사, 치과의사 순이었다[5].

진단용 방사선 발생 장치의 종류는 진단용 X-선 장치와 진단용 X-선 발생기, 치료 진단용 X-선 발생 장치, 전산화 단층촬영 장치가 있다[6]. 이중 전산화 단층촬영 장치로 복부CT검사 1회를 할 경우, 4년간 받는 자연방사선량에 해당되며, 흉부일반 X-선 촬영에 비해 100배 이상의 선량을 받는다고 한다[7]. 이는 환자에 대한 피폭뿐만 아니라 CT의 검사를 담당하고 있는 검사자의 피폭선량에도 크게 기인한다. 저 선량 방사선으

로도 암의 발생 확률에 기인하므로[8], 미량의 누설선량이라도 그 원인을 파악하여 완전 방어를 목표로 한다. 그 목표를 위해 조사대상 지역에 위치한 의료기관의 CT실을 대상으로 실제 방사선 누설선량을 조사하였고, 이를 토대로 누설선량이 많은 의료기관에 대해 차폐시설에 대한 문제점을 파악하였다.

방사선 관계 종사자는 안전관리 기준에 따라 2년마다 건강 검진을 통한 개인 피폭 선량관리를 받게 되어 있다[9]. 또한 방사선 시설 개설자는 방사선 방어시설 검사기준에 따라 검사 성적서를 발행하여야 하며, 이를 개설 허가 시 제출해야 한다. 그 규정에 따르면, 방어벽의 바깥에서 주당 2.58×10^{-5} C/kg(주당 100 mR) 넘지 않고, 사람이 통행 거주하지 않는 곳에 주당 2.58×10^{-6} C/kg(10 mR)이하로 규정한다[10]. 주당 최대 누설선량의 산출은 방사선 선량계를 통해 측정된 측정값(Measurement value)과 측정기의 특성에 관련된 계수를 보정하여 실제의 누설선량을 구하고 이에 주당 최대 동작 부하량을 고려하여, 주당 최대 누설선량이 기준치 이내인지를 검사한다[11]. 이처럼 주당 최대 누설선량은 실제 측정된 값에 보정계수 및 주당 최대 동작 부하량과 같은 변수들에 대한 계산에 의존하므로 자칫 오류를 나타낼 수 있다. 특히 주당 최대 동작 부하량의 경우, 관전류 적용과 주당 최대 촬영건수는 더 많은 오류를 나타낼 수 있기에 본 연구는 CT 장치에 기록된 데이터와 실제 임상에서 사용하는 파라미터를 토대로 실험적 계산 방법을 제시하고자 한다. 또한 이 실험적 방법은 기존의 고전적 방법과 비교해 어떤 차이를 보이는지를 살펴보았다.

II. 재료 및 방법

2012년 12월 01일 부터 2013년 01월 30일 아래 측정 장소에 대해 전리함과 비례계수관을 사용, 방사선 누설 선량(radiation leakage)을 측정하였다. 측정된 누설선량은 주당 최대 동작 부하량과 보정산출율에 대입한 후 주당 최대 누설선량 계산 방법에 따라 환산 하였다[10]. 환산된 수치는 주당 최대 누설선량 허용치(<100

mR/week)기준에 적합한지를 평가하였다. 다음으로 차폐 벽 높이에 기인한 조정실 내부의 누설선량 평가를 위해, 법적 방어시설 기준인 차폐 벽 2m이상의 높이인 3m에서 누설선량을 평가하였다[6]. 또한 위 높이에서의 누설선량이 조정실 내부의 영향을 미치는가를 평가하였다. 이 평가를 토대로, 조정실 내 감시창 벽면에 대해 3m 이상의 높이로 차폐시설 보강 공사 후 재측정이 이루어졌다.

1. 방사선 누설선량 측정 대상 및 장소

누설선량 평가는 부산광역시에 위치한 3차 의료기관(대학병원) CT실 7곳과 2차 의료기관(종합전문요양병원) 4곳의 CT실을 대상으로 하였다. 측정 장소로는 아래와 같이 비교적 방사선 누설선량으로부터 취약한 장소를 임의적으로 선정하였다[표 1].

표 1. 의료기관 분류 및 방사선 누설선량 측정 장소

기관별	의료기관	측정장소
3차	D의료원 A CT	1)조정실 내부 환자 감시창벽면의 지면으로부터 3m 높이(이하: 지면으로부터 3m 높이) 2)조정실내부의 특정지점 3)조정실 내 종사자 출입문 4)환자 상시 출입문
	D의료원 B CT	
	BU의료원 A CT	
	BU의료원 B CT	
	INGB의료원	
	GO의료원	
2차	INH의료원	
	WON의학원	
	GHB병원	
	GHJ병원	
	M병원	
total	11 곳	4 곳

2. 방사선 누설선량 측정

장비 특성에 따른 노출 방사선량의 차이를 배제시키기 위해 자동 노출제어(Automatic expose controller)를 사용하지 않았다. 누설선량 측정 시 아래 복부 CT검사 파라미터를 이용하였고, 아래 두 측정기를 이용, 각 5회 측정된 평균과 표준편차로 기록하였다(단위 : uSv/hr).

2.1 측정기

전리함(0D-01HX, STEP Inc, Germany: 검정 교정일 2012. 01), 비례계수관 (FH 40G/L, LAURUS system Inc, USA: 검정교정일 2012. 05)은 특정 에너지

(Cs-137)에서 교정하였다. 각 지점별 측정횟수는 5회로 제한하였으며, 그 측정치의 평균선량을 누설선량으로 기록하였다. 또한 검사의 정확성을 위해 측정 시 기온(18℃)과 기압(1014 hPa)을 고려하였다.

2.2 누설선량 측정 시 사용한 복부 CT검사 파라미터

- 1) 관전압 : 120 kVp, 관전류 : 250 mA(고정)
- 2) Tube rotation time : 0.50 sec, 총 조사시간 : 7 sec
- 3) 검사 방식(scan mode) : Helical(Spiral)

3. 고전적 방법의 주당 최대 누설선량 계산

측정한 누설선량이 주당 최대 누설선량 허용치(<100 mR/week)에 부합하는지를 평가하기 위해 아래와 같은 주당 최대 누설선량 계산 방법을 사용하였다[10].

3.1 주당 최대 동작 부하량 산출

$$\frac{\text{최대 관전류}(mA) \times \text{최대 조사시간}(sec) \times \text{주당 최대 촬영건수}}{60}$$

- 최대 관전류: 임상에 사용되는 최대 관전류(mA)
- 최대 조사시간: 임상에 사용하는 최대 조사시간(sec)
- 주당 최대 촬영건수: 주당 예상되는 총 촬영건수
- 단위 : mA · min/week

3.2 보정 산출율(R.V) 산출

측정에 사용된 전리함과 비례계수관은 특정 에너지(Cs-137)에서 교정한 경우에 해당하므로 아래 수식을 적용할 수 있다.

$$R.V = M.V \times \frac{273.15 + t}{293.15} \times \frac{1013}{P} \times C.F \times \frac{E.Rcs}{E.Rx} \times \frac{1}{T.R}$$

- R.V(Real Value) : 누설선량의 보정된 실제값 (보정선량율)
- M.V(Measurement Value) : 누설선량 측정값 (측정선량율)
- t(Temperature) : 누설선량 측정 시 온도(℃)

- P : 누설선량 측정 시 기압(hPa)
- C.F : 측정기의 표준선원(Cs-137)에 대한 교정계수
- T.R : 측정기의 시간응답 특성 교정계수
- E.R_{Cs} : 측정기의 Cs-137 에너지 특성 교정계수
- E.R_X : 측정기의 X-선 에너지 특성 교정계수

3.3 주당 최대 동작 부하량에 대한 주당 최대 누설선량 표기

$$\frac{R.V(mR/min) \times \text{주당 최대 동작 부하량}(mA \cdot \text{min}/\text{week})}{\text{최대 관전류}(mA)}$$

4. 실험적 방법의 주당 최대 누설 선량 계산

실험적 방법의 주당 최대 누설 선량 계산 시 주당 동작 부하량 계산에 대해, 아래와 같은 변수를 적용 하였다. 그 외의 방법에 대해서는 고전적 방법과 동일한 방법을 사용하였다.

4.1 최대 관전류(mA) 적용

임상에서 실제 사용 중인 복부 CT파라미터 관전류 250 mA 적용

4.2 최대 조사시간(sec) 및 주당 최대 촬영 건수 적용

최대 조사시간은 조사대상 한 의료기관에 CT장비에 기록된 6개월간의 총 방사선 노출 시간 200,000 sec(D 의료원 A CT 장비의 6개월 방사선 노출 기록 참조)로, 이를 26주로 나누어 최대 촬영건수를 초 단위로 계산 하였다.

5. 방사선 누설선량 추가 측정

조정실내 감시창 벽의 지면으로부터 3 m 높이에서 누설선량으로 인한 조정실 내부의 영향을 평가하였다. 이를 위해 조정실 내부에서 높이 및 거리별 추가 측정이 이루어졌다. 추가 측정 지점으로는 종사자에 영향을 줄 수 있는 작업자의 작업 위치를 참고하여, 높이별 : 지면으로부터 72 cm(앉은 키), 170 cm(신장)와, 거리별 : 감시창으로부터 50 cm, 150 cm, 250 cm로 추가 측정을 하였다. 또한 조정실 차폐 벽이 3 m 이하인 의료기관에 대해 시설 보수공사 후 조정실 내 누설선량을

파악하였다.

6. 통계적 분석

측정된 자료는 통계분석 프로그램인 SPSS PASW Statistics 18.0을 이용하였다. 지면으로부터 3 m 높이에서 누설선량으로 인한 조정실 내부 누설선량과의 영향 평가를 위하여, 상관분석(이변량계수)을 실시하였다. 또한 출입문별 조정실내 종사자 출입문과 환자출입문에 대한 누설선량 차이를 알아보기 위해 대응표본 t-test를 실시 하였고, 지면으로부터 3 m 높이까지 차폐 시공 전후의 누설선량 차이를 알아보기 위해 동일한 방법을 사용하여 검증 하였다. 그 결과 p<0.05 이하인 경우에 유의한 차이가 있는 것으로 하였다.

III. 결 과

누설선량 측정값으로부터 최초 시설 허가 시 차폐시설 검사 성적서의 검사 방법에 따른 주당 최대 누설선량 값으로(고전적 방법) 환산한 결과, 모든 측정 지점에서 주당 최대 누설선량 허용치(<100 mR/week) 이내인 것으로 나타났다. 이는 측정치 최고를 기록한 M병원의 566.00 ± 84.85 μSv/h를 고전적 방법의 주당 최대 누설선량으로 환산 시 10.00 ± 0.11 mR/week(<100 mR/week)을 근거로 한다. 또한 조정실내 감시창 벽면의 지면으로부터 3 m 높이의 누설선량은 조정실 내부의 누설선량에 기인하였다(p<0.05)[표 2][표 3]. 그리고 출입문별 누설선량 비교에서 종사자출입문과 환자출입문의 누설선량은 차이를 보이지 않았다(p>0.05)[표 4]. 또한 차폐벽 보수 공사 후(3 m이상 납 차폐) 상당량의 누설선량을 줄일 수 있었다(p<0.05)[표 5].

1. 조정실 내 감시창 벽면의 지면으로부터 3 m 높에서의 누설선량

모든 조사 대상 의료기관에서, 조정실 내부 감시창 벽면의 지면으로부터 3 m 이상의 높이에서 측정된 누설선량은 44.12 ± 131.38 μSv/h로 나타났다. 이중 최대 누설선량을 기록한 곳은 D의료원 B CT실 439.50 ±

16.97 μ Sv/h로 측정되었다[표 2]. 이를 고전적 방법으로 계산한 주당 최대 누설선량은 5.97 \pm 0.23 mR/week로, (<100 mR/week)허용치 이하의 수준을 나타내었다.

2. 조정실 내 특정 지점의 누설선량

모든 조사대상 의료기관들의 조정실 내부 누설선량을 파악하기 위해 환자 감시창으로부터 작업자의 위치(조정실 내부 환자 감시창 중앙에서 거리 1 m, 높이 1 m 지점)에서 누설선량을 측정된 결과 3.18 \pm 4.30 μ Sv/h로 나타났다. 이중 최대 누설선량을 나타낸 곳은 D의료원 B CT실로 37.30 \pm 2.12 μ Sv/h이 측정되었다[표 2]. 이를 고전적 방법으로 계산한 주당 최대 누설선량은 0.50 \pm 0.02 mR/week로, (<100 mR/week)허용치 이하의 수준을 나타내었다. 아래 표는 지면으로부터 3 m높이와 조정실 내 누설선량 측정값이다[표 2].

표 2. 지면으로부터 3 m 높이의 조정실 차폐 벽과 조정실 내부의 특정 지점의 누설선량 (μ Sv/h)

	누설선량	
	3m 높이	특정지점
D의료원 A CT	3.83 \pm 0.42	1.31 \pm 0.98
D의료원 B CT	439.50 \pm 16.97	37.30 \pm 2.12
BU의료원 A CT	0.20 \pm 0.00	0.10 \pm 0.00
BU의료원 B CT	0.25 \pm 0.07	0.15 \pm 0.07
INGB의료원	27.95 \pm 7.57	13.32 \pm 8.46
GO의료원	7.90 \pm 4.92	2.95 \pm 1.63
INHB 의료원	0.30 \pm 0.00	1.04 \pm 1.22
WON 의학원	0.25 \pm 0.21	0.63 \pm 0.39
GHB병원	3.20 \pm 0.42	0.16 \pm 0.07
GHJ병원	1.68 \pm 0.18	1.20 \pm 0.14
M병원	0.22 \pm 0.02	8.80 \pm 1.70

지면으로부터 3m 높이의 누설선량은 아래 표와 같이 통계적으로 유의한 수준으로 조정실의 누설선량에 영향을 끼치는 것으로 나타났다(p<0.05)[표 3].

표 3. 지면으로부터 3m 높이의 조정실 차폐 벽과 조정실 내부의 특정 지점의 누설선량과의 상관관계

	3m 높이	특정지점
3m above	1	0.68*
particular space	0.68*	1

*p<0.05

3. 조정실 내 종사자 출입문의 누설선량

모든 조사대상 의료기관들의 조정실 내 종사자 출입문에서 측정된 누설선량은 59.17 \pm 168.64 μ Sv/h로 나타났다. 이 중 가장 높은 방사선 누설선량이 측정된 곳은 M 병원으로 두 측정기에서 566.00 \pm 84.85 μ Sv/h로 측정되었다[표 4]. 이를 고전적 방법으로 계산한 주당 최대 누설선량은 10.00 \pm 0.11 mR/week로 허용치 이하(<100 mR/week)의 수준을 나타내었다.

4. 환자 출입문의 누설선량

모든 조사 대상 의료기관들에서 나타난 환자 상시 출입문에서의 측정된 누설선량은 20.80 \pm 51.96 μ Sv/h로 나타났다. 이중 최대 누설선량을 나타낸 곳은 D의료원 A CT실로, 측정값은 174.75 \pm 35.00 μ Sv/h로 나타났다 [표 4]. 이를 고전적 방법으로 계산한 주당 최대 누설선량은 2.37 \pm 0.47 mR/week로, (<100 mR/week)허용치 이하의 수준을 나타내었다. 또한 조정실 출입문과 환자 출입문의 누설선량은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 아래 표와 같이 나타났다(p>0.05)[표 4].

표 4. 조정실 내 종사자 출입문과 환자 출입문에서의 누설선량 (μ Sv/h)

	누설선량	
	종사자 출입문	환자출입문
D의료원 A CT	46.40 \pm 0.57	174.75 \pm 35.00
D의료원 B CT	4.70 \pm 1.98	2.17 \pm 2.09
BU의료원 A CT	18.45 \pm 3.04	0.10 \pm 0.00
BU의료원 B CT	1.36 \pm 0.57	0.85 \pm 0.07
INGB의료원	4.09 \pm 0.52	33.30 \pm 16.55
GO의료원	2.55 \pm 1.91	6.15 \pm 1.32
INHB 의료원	0.21 \pm 0.12	0.15 \pm 0.07
WON 의학원	0.36 \pm 0.23	0.87 \pm 1.00
GHB병원	0.47 \pm 0.11	1.67 \pm 0.39
GHJ병원	6.30 \pm 0.35	0.77 \pm 0.39
M병원	566.00 \pm 84.85	7.99 \pm 1.89
t-test	-0.791	

5. 방사선 누설선량 추가 측정

조사 대상 의료 기관 중 조정실내 감시창 벽면의 지면으로부터 3 m 높이와 조정실 내부의 특정 지점에서 최대 누설선량이 측정된 의료기관은 D의료원 B CT실이었다. 이 의료기관에 대해 거리별, 높이별 누설선량을

측정한 결과, 지면으로부터 높이 올라갈수록 더 높은 누설선량을 나타냈다. 또한 거리에 따른 방사선 감약과 무관하게 측정 중간 지점인 높이 170 cm와 거리 150 cm 지점에서 $33.80 \pm 6.36 \mu\text{Sv/h}$ 로 가장 높은 누설선량을 나타내었다. 또한 D의료원 B CT실의 경우, 조정실 내 감시창 벽에 대해 기존 차폐 벽 2 m 높이에서 3 m 이상으로 보강 공사가 이루어졌다. 그 결과 72 cm 높이에서 누설선량은 보강 공사 전 $10.36 \pm 3.17 \mu\text{Sv/h}$ 에서 보강 공사 후 $1.51 \pm 0.24 \mu\text{Sv/h}$ 로 줄었고, 170 cm 높이에서도 거리별 $22.40 \pm 10.27 \mu\text{Sv/h}$ 에서 $1.66 \pm 0.28 \mu\text{Sv/h}$ 로 상당량의 누설선량이 줄었다. 아래 표와 같이, 차폐시설 보강 전 후 누설선량 비교에서 통계적으로 유의한 수준으로 차폐시설 보강 후 상당히 낮은 누설선량을 기록 하였다($p < 0.05$) [표 5].

표 5. 차폐벽 보강 공사 전 후 높이 및 거리에 따른 누설선량 ($\mu\text{Sv/h}$)

높이 × 측정거리	사전	사후
72cm × 50cm	7.60 ± 1.48	1.25 ± 0.35
72cm × 150cm	9.52 ± 1.09	1.55 ± 0.25
72cm × 250cm	13.80 ± 0.98	1.74 ± 0.22
170cm × 50cm	19.55 ± 1.34	1.44 ± 0.77
170cm × 150cm	33.80 ± 10.80	1.98 ± 0.11
170cm × 250cm	13.50 ± 0.21	1.58 ± 0.01
t-test	3.864*	

* $p < 0.05$

6. 고전적 방법에 의한 주당 최대 누설선량 계산

고전적 방법(방시설 검사 시 사용한 기존의 방법)에 따라, 조사 대상 의료기관 중 최대 측정치를 기록한 장소에 대해 아래와 같이 주당 최대 누설선량을 환산하였다[6].

예) M 병원의 최대 측정치(566.00 uSv/hr)에 대한 주당 최대 누설선량 산출 방법 :

※ 단위 환산 : 566.00 uSv/hr 를 mR/hr 로 환산하면 $566.00 \times 10^{-3} \times 100 \text{ mR/hr} = 56.60 \text{ mR/hr}$

※ 주당 최대 동작 부하량 산출 : 최대 관전류 : 100 mA, 최대 조사시간 : 1 sec, 주당 최대 촬영건수 : 500건으로 동작 부하량을 산출하면 = $833.33 \text{ mA} \cdot \text{min/wk}$

※ 실제 측정값에 의한 보정 산출율(R.V)계산 :

측정값 $\text{MV} = 56.60 \text{ mR/hr}$

온도 : 18°C , 기압 : 1014 hPa , TR : 1, CF: 0.987

Cs 교정계수 : 1.05 X선 교정계수: 1.09

즉, 각종 보정계수를 보정하여 계산한 실제 값 RV는 59.45 mR/hr 가 된다.

※ 주당 최대 누설선량 산출 :

누설선량을 실제값 RV는 시간에 대한 선량율이며, 검사조건 100 mA 에 대한 선량이다. 그러므로 먼저 이 값을 sec에 대한 선량율로 환산한다.

$$59.45 \text{ mR/hr} \div 3,600 \text{ sec} = 0.02 \text{ mR/sec} \quad (1)$$

주당 최대 동작부하를 검사조건 mA 로 나누어 준다.

$$833.33 \text{ mA} \cdot \text{min/wk} \div 100 \text{ mA} = 8.33 \text{ min} \quad (2)$$

(2)를 sec 로 환산한다.

$$8.33 \text{ min} \times 60 \text{ sec} = 499.80 \text{ sec} \quad (3)$$

(3)을 실제 값의 sec에 대한 선량율 (1)로 곱해주면 해당 장치의 주당 최대 동작 부하량에서 주당 최대 누설선량을 구할 수 있다.

$$0.02 \text{ mR/sec} \times 499.80 \text{ sec} =$$

$$10.00 \text{ mR/week at } 200 \text{ mA} \cdot \text{min/week}$$

(측정치 566.00 uSv/hr 에 대한 고전적 방법의 주당 최대 누설선량 환산 값)

7. 실험적 방법에 의한 주당 최대 누설선량 계산

조사대상 한 의료기관에 CT장비에 기록된 6개월간의 총 방사선 노출 시간과 실제 사용 중인 복부 CT의 최대 관전류를 이용해, 주당 최대 누설 선량을 아래와 같이 환산하였다.

$$\text{예) } 200,000/26 \text{ 주} = 7,692 \text{ sec (주당 최대 촬영건수)}$$

따라서 위 값으로 주당 동작 부하량을 적용하면,

$$\frac{\text{최대 관전류 (mA)} \times \text{최대 조사시간 (sec)} \times \text{주당 최대 촬영건수}}{60}$$

최대 관전류(mA): 250 mA

최대 조사시간(sec) : 1 sec

주당 최대 촬영건수 7,692 sec

= $32,050 \text{ mA} \cdot \text{min/week}$ 이 된다.

= $118.31 \pm 17.72 \text{ mR/week}$ (측정치 566.00 uSv/hr 에 대한 고전적 방법의 주당 최대 누설선량 환산 값)

이를 조사 대상 의료기관 중 최대 누설선량을 기록한 M병원의 종사자 출입문 측정 수인 평균값 $566.00 \pm 84.85 \mu\text{Sv/h}$ 를 주당 최대 누설선량으로 환산하면 $118.31 \pm 17.72 \text{ mR/week}$ 로 주당 최대 누설선량 허용치($>100 \text{ mR/week}$)를 초과하게 된다. 측정된 수치에 대해 고전적 방법과 실험적 방법의 주당 최대 누설 선량 환산 값을 비교해 보면 아래 그림과 같다[그림 1][그림 2].

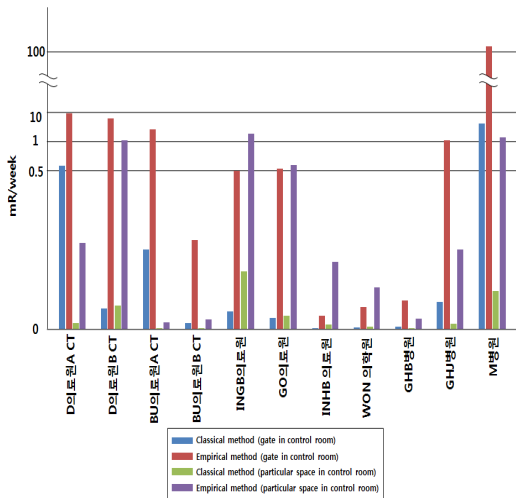


그림 1. 고전적 방법과 실험적 방법의 최대누설선량 비교(조정실 내 종사자 출입문과 특정지점)

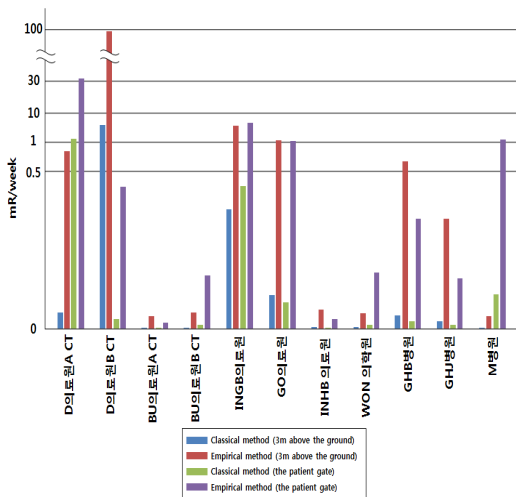


그림 2. 고전적 방법과 실험적 방법의 최대누설선량 비교(지면 3m 높이와 환자 출입문)

IV. 고찰

일반촬영실의 주당 최대 누설선량을 조사한 이전의 연구와 비교해[12], 조사대상 평균 CT실의 주당 최대 누설선량은 조정실 출입문은 일반촬영실(0.11 mR/week), CT실 (0.80 mR/week), 조정실 내 특정 지점은 일반촬영실(0.15 mR/week), CT실(0.04 mR/week), 환자 출입문은 일반촬영실 (0.12 mR/week), CT실 (0.02 mR/week)로 나타났다. 이와 같이 이전연구와 비교할 때 일반촬영실에 비해 CT실의 주당 최대 누설선량이 낮은 것으로 나타났다. 또한 상대적으로 누설선량이 취약한 지점에 대한 원인을 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 종사자 출입문과 환자 상시 출입문에 대한 누설선량의 측정 결과, 누설선량이 비교적 높은 D의료원 A CT실의 경우 환자 출입문이 납으로 차폐되어 있지 않았다. 둘째, 조정실 내부 환자 감시창 벽면의 지면으로부터 3m 높이에서 비교적 높은 누설선량을 기록한 D의료원 B CT실의 경우 차폐체가 법적 기준인 2m만 충족시키고 있었다. 이로 인해 조정실 내부로 상당량의 누설 선량을 기록하였다. 이를 토대로 방사선 방호시설 규정과 주당 최대 누설선량 산출시 나타날 수 있는 오류에 대해 아래와 같이 고찰해 보았다.

1. 방사선 방호시설 규정에 대한 보완

대부분의 조사대상 의료기관은 방사선 방어시설 규정 중 촬영실 방어벽에 대한 규정인 “방어벽의 높이는 지면으로부터 2 m 이상으로 한다”의 규정에 부합하였다[9]. 또한 3 m 이상의 차폐체를 시공한 의료기관의 조정실 내부는 자연선량(back ground)과 거의 일치하는 누설선량을 기록하였다. 하지만 D의료원 B CT실은 2 m 이상 높이에서 상당량의 누설선량이 측정되었고, 그 결과 조정실 내부의 누설선량에 상당한 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 따라서 “2차 방어벽의 높이는 2 m 이상으로 한다”의 규정을 3 m 이상으로 보완해야 할 것이다. 이에 대한 근거로 D의료원 B CT실에 대해 차폐체를 3 m 이상 보완공사 후 자연선량과 유사한 선량이 측정된 것이 이에 대한 근거가 될 수 있다[표 5].

2. 고전적 방법의 주당 최대 동작 부하량 산출의 오류

방사선방어시설검사 가이드라인[11]에 따라 주당 최대 누설선량 환산 시 주당 최대 동작 부하량은 방어시설 검사자에 따라 주관적인 변수를 적용하고 있었다. 이에 따라 아래와 같은 오류를 찾을 수 있었다.

2.1 최대 관전류(mA) 적용의 오류

최대 관전류 적용에 있어, 임상에 사용되는 최대 관전류(mA)를 사용한다[10][11]. 하지만 최초 방어시설 검사 시 누설선량 측정 기록에 따르면 최대 관전류 100 mA를 적용 하였다. 해당 의료장비의 복부 CT파라미터를 보면 최소 150 mA ~ 250 mA까지 사용하므로, 이 두 값 중 어느 한 파라미터에도 해당하지 않았다.

2.2 최대 조사시간 적용의 오류

최대 조사시간 적용 시 실제 임상에서 사용 중인 최대 조사시간(sec)을 적용해야 한다[10][11]. 하지만 검사시간(scan sec)단위로 볼 때, 단위 검사별 수 초에서 수 십 초까지 아주 다양하다. 예를 들어 동일 검사라 하더라도, CT검사 파라미터에 따라 더욱 많은 조사시간 차이를 나타낸다. 따라서 해당 장비의 주당 동작 부하량 적용 시 사용한 1 sec의 변수는 어떠한 근거인지 이론적 뒷받침을 찾을 수 없었다. 만약 최대 조사시간을 적용한다면, 현재 10 sec이상의 변수가 적용되어야 할 것이다.

2.3 주당 최대 촬영건수 적용의 오류

주당 최대 촬영건수의 경우, 예상되는 총 촬영건수를 적용하게 되어 있다[10][11]. 촬영건수의 경우, 검사(scan)단위로 검사 건수를 산정 할 것인지 환자 1명당의 건수를 적용할 것인지에 대한 정의가 없다. 따라서 검사 단위(scan)로 볼 때 환자 1명당 수 건(복부 CT의 경우 동맥기 영상, 정맥기 영상, 지연상 등)이 될 수도 있다. 복부 CT의 경우 최대 4건까지 적용할 수 있다. 하지만 고전적 방법에 있어 환자 1명당 1건의 계산을 적용하였으며, 이는 검사 단위(scan)의 적용과 비교할 때

최대 4배 이상의 차이를 나타낼 수도 있다. 이에 대해 실험적 방법의 주당 최대 동작 부하량 산출법은 실제 환자 검사 시 사용 중인 최대 관전류와 CT장치에 기록된 최대 조사시간을 적용하고 있어 보다 현실적이고, 정확한 변수를 적용 할 수 있었다. 이에 따라 실험적 방법은 고전적 방법에 비해 상대적으로 높은 주당 최대 허용 선량으로 나타났다. 또한 한 의료기관에 대해서는 법적 허용치(>100mR/week)이상을 기록 했다[그림 1]. 이는 향후 방사선 시설에 대한 보강 공사의 자료가 될 수 있을 것이다.

3. 주당 최대 누설선량 허용치 기준의 보완

방어벽의 바깥에서 주당 2.58×10^{-5} C/kg(주당 100 mR) 넘지 않고, 사람이 통행 거주하지 않는 곳에 주당 2.58×10^{-6} C/kg(10 mR)이하이어야 한다고 규정하고 있다[11]. 하지만 NCRP(National Council on Radiation Protection and Measurements report NO. 49, 1976)에 의하면, 조정실과 같은 방사선 관리구역(Controlled area)의 최대 누설선량을 1 mGy/week(단위 환산 : 100 mR/week)로 하고 있으며, 사람이 거주하지 않는 구역에 해당하는 감시구역(Uncontrolled area)의 주당 최대 누설선량을 0.10 mGy/week(단위 환산 : 10 mR/week)로 규정하고 있다. 이를 2004년 다시 개정하여, 관리구역(Controlled area)을 0.10 mGy/week(단위 환산 : 10 mR/week)로 규정하고, 사람이 거주하지 않는 구역에 해당하는 감시구역(Uncontrolled area)을 0.02 mGy/week(단위 환산 : 2 mR/week)로 주당 최대 누설선량의 허용기준을 대폭 하향 조정하였다. 이를 NCRP(2004년) 기준과 국내 기준을 서로 비교할 때, 관리구역(Controlled area)의 경우 100 mR/week(국내)과 10 mR/week(NCRP)로 10배 이상의 차이를 보였고, 사람이 거주하지 않는 구역에 해당하는 감시구역(Uncontrolled area)의 경우 10 mR/week(국내)와 2 mR/week(NCRP)로 5배 이상 주당 최대 누설선량 기준이 높은 것으로 나타났다[표 6].

표 6. 국내외 방사선 관리구역 및 감시구역의 누설선량 허용치

	구역	
	관리구역	감시구역
NCRP.49(1976)	100 mR/week	10 mR/week
NCRP.147(2004)	10 mR/week	2 mR/week
국내(2011)	10 mR/week	10 mR/week

V. 결론

소량의 방사선이라도 지속적으로 노출될 경우, 암 발생이나 기타 확률에 근거한 영향으로부터 자유로울 수 없다. CT와 같은 비교적 진단영역에서 높은 방사선 선량을 사용하는 장비의 경우 초기 방사선 방어시설을 갖추 때 보다 더 세심한 주위가 요구된다. 이에 본 연구는 자연 방사선(background)수준의 누설선량이 되도록 CT실의 차폐벽을 3 m이상으로 할 것과 종사자가 근무하는 관리구역에 대해(controlled area), NCRP. 147를 근거로[표 6], 주당 최대 누설선량이 10 mR/week로 하향 조정이 필요할 것으로 사료된다. 또한 주당 최대 허용선량 산출시 계산식 적용에 대한 모호함을 보다 합리적으로 적용할 수 있도록 더 많은 연구가 필요할 것이다.

참고 문헌

- [1] M. Y. Park and S. E. Jung, "CT radiation dose and radiation reduction strategies," J. Korean Med Assoc, Vol.54, No.12, pp.1262-1268, 2011.
- [2] 보건 복지부령, 진단용 방사선 발생장치의 안전관리에 관한 규칙 제 1조, 2011.
- [3] 조평곤, "투시검사실 내 공간산란선 분포 측정", 한국콘텐츠학회논문지, 제11권, 제10호, pp.350-353, 2011.
- [4] 이왕희, "광 자극 발광선량계와 열 형광선량계를 이용한 핵의학과 선량 측정 비교", 한국콘텐츠학회논문지, 제12권, 제12호, pp.330-333, 2012.
- [5] 식품의약품안전청, 2008년도 의료기관 방사선 관계 종사자의 개인 피폭선량 연보: 방사선 안전관리

리 시리즈 No.20, 2009.

- [6] 한국의료기기 평가연구원, 진단용 엑스선 발생기의 검사기준 및 시험방법, 2010.
- [7] 김동현, "CT검사 시 관전압과 BMI변화에 따른 화질 및 피폭평가", 한국콘텐츠학회논문지, 제13권, 제6호, pp.332-336, 2013.
- [8] E. J. Hall, "Cancer risks from diagnostic radiology," The British Journal of Radiology, Vol.81, No.25, pp.362-378, 2005.
- [9] 식품의약품안전청, 진단용 방사선 발생장치의 안전관리에 관한 규칙 제 13조: 방사선 관계 종사자에 대한 건강진단, 2012.
- [10] 보건 복지부, 진단용 방사선 발생장치의 안전관리에 관한 규칙 제 1조: 방사선 방어시설 검사 기준제 4조 제 3항, 2013.
- [11] 식품의약품안전청, 방사선 방어시설 검사 가이드라인, 2012.
- [12] 임인철, 이세승, 권대철, "영상의학과 엑스선 장치의 누설 및 산란선량 측정", 한국방사선학회논문지, 제5권, 제3호, pp.155-159, 2011.
- [13] L. E. Romans, *Computed Tomography for technologists : A comprehensive Test*, Lippincott Williams and Wilkins Pub, 2011.

저 자 소 개

양 원 석(Won-Seok Yang)

정희원



- 2001년 2월 : 동서대학교 컴퓨터 공학과(공학사)
- 2009년 2월 : 부산가톨릭대학교 생명 과학 대학원 방사선학과 (이학석사)
- 2012년 8월 : 동아대학교 의과 대학원 의학과(의학박사)
- 1996년 ~ 현재 : 동아대학교 의료원 영상의학과 <관심분야> : 의료 영상, 의료 방사선 방어

최 준 혁(Jun-Hyeok Choi)

정회원



- 2009년 2월 : 인제대학교 임상병리학과(학사, 이학석사)
- 2007년 8월 ~ 현재 : 인제대학교 방사선 방재센터 조교

<관심분야> : 방사선 생물학

신 운 재(Woon-Jae Shin)

종신회원



- 2003년 8월 : 인제대학교 보건학과(박사)
- 1981년 ~ 2008년 : 부산백병원 영상의학과
- 1991년 1월 ~ 현재 : 대한 자기공명 기술 학회 정회원

- 1996년 ~ 2007년 : 마산대학 방사선과 겸임전임강사
- 2007년 ~ 2008년 : 인제대학교 의용공학과 겸임조교수
- 2009년 ~ 현재 : 방사선원 사고지원 단원 (U-REST)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 동의과학대학교 방사선학과 부교수

<관심분야> : 방사선 기술학, 자기 공명 영상학

민 병 인(Byung-In Min)

정회원



- 2004년 2월 : 인제대학교 생물학과(이학석사, 박사)
- 1986년~2005년 : 부산백병원 방사선과, 인제대학교 방사선 안전관리실장
- 2006년 ~ 2007년 : 교육 과학 기술부 원자력 전문위원

- 2002년 ~ 현재 : 대한 의생명과 학회 정회원, 상임이사
- 2006년 ~ 현재 : 방사선 사고 지원단 부산권역 단장
- 2008년 ~ 현재 : 인제대학교 원자력 응용공학부 교수

<관심분야> : 방사선 생물학