

Calculation Formula for Shielding Thickness of Direct Shielded Door installed in Treatment Room using a 6 MV X-ray Beam

Cheol Seo Park,¹ Jong Eon Kim,² Eun Bo Kang^{3,*}

¹Corporate Subsidiary Research Institute, Korea Best Engineering Co. Ltd

²Department of Radiological Science, Kaya University

³Department of Radiological Science, Dong-Eui Institute of Technology

Received: August 14, 2020. Revised: October 20, 2020. Accepted: October 31, 2020

ABSTRACT

The purpose of this study is to derive a lead thickness calculation formula for direct-shielded doors based on NCRP Report No.151 and IAEA Safety Report Series N0.47. After deriving the dose rate calculation formula for the direct shielded door, this formula was substituted for the lead shielding thickness calculation formula to derive the shielding thickness calculation formula at the door. The lead shielding thickness calculated from the derived direct shielded door shielding thickness calculation formula was about 6% lower than that calculated by the NCRP and IAEA secondary barrier shielding thickness calculation methods. This result is interpreted as meaning that the thickness calculation is more conservative from the NCRP and IAEA secondary barrier shielding thickness calculation methods and fits well for secondary beam shielding. In conclusion, it is thought that the formula for calculating lead shielding thickness of the direct shielded door derived in this study can be usefully used in the shield design of the door.

Keywords: Shielding, Door, Secondary beam, Head leakage, Patient scattering.

I. INTRODUCTION

선형가속기가 설치된 치료실에서 미로(maze)로 설계된 입구통로는 일반적으로 치료실의 입구에서 측정되는 선량률(주간 선량당량 또는 주간 흡수선량) 준위를 낮추어서 설치되는 도어의 두께를 얇게 하고 무게를 가볍게 한다.^{1,2)} 이러한 도어는 미로도어라 한다. 그러나 최근에는 미로에 필요한 공간만큼 치료실의 공간을 줄이기 위하여 치료실 안에 미로를 설계하지 않는 추세에 있다. 미로 없는 치료실에 설치되는 도어가 직접차폐식 도어이다.³⁻⁷⁾ 직접차폐식 도어의 위치에서 측정되는 선량률은 미로도어 위치에서 측정되는 선량률보다 높은 준위로 측정된다. 따라서 직접차폐식 도어는 미로도어보다 두께가 두꺼워지고, 무게는 더 무거워진다.

NCRP 보고서 No.151⁴⁾과 IAEA 안전 보고서 시리즈 No.47³⁾은 미로도어에 대한 차폐 두께 계산식을 기술하고 있다. 그러나 직접차폐식 도어에 대한 차폐 두께 계산식은 기술되어 있지 않다. 그러므로 치료실에 직접차폐식 도어를 설치할 경우, 도어 설계를 담당하는 사람이 직접 직접차폐식 도어의 차폐 두께 계산식을 유도하여 차폐 두께를 결정하여야 한다. 따라서 직접차폐식 도어에 대한 차폐 두께 계산식의 유도에 대한 필요성이 제기된다.

이 연구의 목적은 NCRP 보고서 151과 IAEA 안전 보고서 시리즈 47에 기술된 미로도어에 대한 선량률 계산식을 기반으로 직접차폐식 도어에서 선량률 계산식을 유도한 후, 이 식을 납 차폐 두께 계산식에 대입하여 도어의 납 두께 계산식을 유도하는 데 있다.

* Corresponding Author: Eun Bo Kang

E-mail: kebwind@dit.ac.kr

Tel:+82-10-6503-9102

방사선은 1차 방사선과 2차 방사선으로 구성된다.^[4] 방사선치료에서 1차 방사선은 환자 치료에 사용하는 선형가속기에서 직접 방출되는 방사선이다. 그리고 2차 방사선은 환자 및 기타 물체와의 상호작용에 의해 산란하는 방사선과 선형가속기 헤드에서 누설되는 방사선이다.^[4] 치료실에서 1차 방벽(primary barrier)은 이용빔(useful beam, 1차 방사선)을 요구하는 정도까지 감쇠시키도록 설계되는 벽, 천장, 바닥 또는 기타 구조물이다. 여기서 이용빔은 1차 방사선을 의미한다.^[4] 2차 방벽(secondary barrier)은 산란 및 누설 방사선을 요구하는 정도까지 감쇠시키도록 설계하는 벽, 천장, 바닥 또는 기타 구조물이다. 도어의 차폐 두께 값은 인접한 2차 방벽의 차폐 두께 값과 같아야 한다.^[4]

본 연구는 직접차폐식 도어 위치에서 환자 산란, 1차 빔의 벽 산란, 헤드누설 빔의 벽 산란과 헤드누설 빔에 기인한 선량률 계산식들을 유도한 후 합한 선량률 계산식을 일반화 하였다. 선량률 계산식으로부터 얻어진 선량률을 납 차폐 두께 계산식에 대입하여 납 차폐 두께를 구한 후 NCRP 및 IAEA 2차 방벽 차폐 두께 계산 방법에 의해 얻어진 납 차폐 두께와 비교분석을 하였다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 직접차폐식 도어의 차폐 두께 계산식 유도

보수적인 측면에서 최악의 시나리오를 가정하여 가속기의 빔은 Fig. 1에서 C방향으로 조사되는 것으로 가정한다. 이 경우 도어 위치에 기여되는 선량률은 등선량중심(isocenter, 등중심점)의 환자로부터 산란되는 방사선에 의한 선량률, 등선량중심에서 C방향 벽으로 향하는 1차 빔의 벽 산란 방사선에 의한 선량률, 등선량중심에서 C방향 벽으로 향하는 헤드누설 빔의 벽 산란 방사선에 의한 선량률과 등선량중심에서 헤드누설 빔에 의한 선량률의 합이다. 여기서 헤드누설 빔의 발생 위치는 보수적으로 더 큰 차폐 두께를 구하기 위해서 등선량중심으로 설정하였다. Fig. 1에서 보여주는 방사선 치료실의 도식적 배치 기반으로 도어 위치에 기여되는 선량률 계산식은 다음과 같이 각각 유도하였다.

1.1 환자 산란에 기인하는 선량률(D_{ptSd})

환자 산란에 기인하는 선량률(Sv/week) 계산식은 Eq. (1)로 유도된다.

$$D_{ptSd} = \frac{WU_0a_{pt} \frac{F}{400}}{d_d^2} \quad (1)$$

$$= \frac{0.25 \times 3.25 \times 10^{-3} \times \frac{400}{400} W}{d_d^2}$$

$$= 8.13 \times 10^{-4} \frac{W}{d_w^2 + d_{dw}^2} \quad (2)$$

여기서 W 는 방사선 치료기기의 부하로서 일주일 동안 등선량중심으로 전달되는 흡수선량(Gy/week)이다. U_0 는 사용계수(use factor)로서 임의의 1차 방벽으로 향하는 1차 빔 부하의 분율이다. a_{pt} 는 환자에 입사하는 1차 빔의 흡수선량에 대한 환자로부터 특정 각도로 산란되는 방사선의 흡수선량의 비이다. F 는 환자에게 입사하는 조사면적(cm^2)이다.

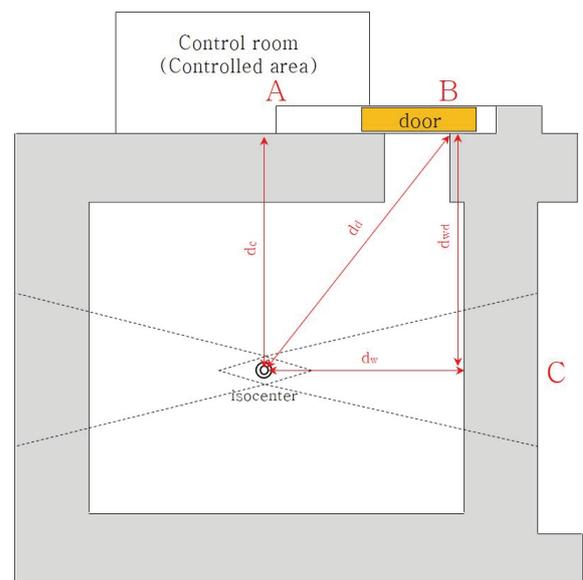


Fig. 1. Schematic layout of radiation treatment room without maze.

Eq. (1)에서 Eq. (2)는 아래의 계산 인자들을 대입하여 얻었다. 적용한 계산 인자들은 다음과 같다. a_{pt} 는 3.125×10^{-3} 로서 환자의 조사야 400 cm^2 입사빔에 대한 1 m 거리의 선량 산란 분율로 45° 로 산란하는 값 중 최대값을 적용하였다. 이유는 보수적인 차폐 두께를 얻기 위함이다. F 는 400 cm^2 이고, U_0 는 0.25 이며, d_d^2 는 $d_w^2 + d_{wd}^2$ 으로 대입하였다. 여기서 조사면적의 선택은 보수적인 측면에서 최대 조사면적인 1600 cm^2 를 사용할 수 있지만 더 현실적인 조사면적인 400 cm^2 를 선택하였다.

1.2 차 빔의 벽 산란에 기인한 선량률(D_{wSd})
 차 빔의 벽 산란에 기인한 선량률 계산식은 Eq. (3)으로 유도된다.

$$D_{wSd} = \frac{WU_0 f a_w A_w}{d_w^2 d_{wd}^2} \quad (3)$$

$$= 0.25 \times 0.38 \times 5.35 \times 10^{-3} \times 1 \times \frac{W}{d_w^2 d_{wd}^2}$$

$$= 5.1 \times 10^{-4} \frac{W}{d_w^2 d_{wd}^2} \quad (4)$$

여기서 f 는 환자를 투과하는 분율이고, a_w 는 벽의 반사계수이며, A_w 는 벽에 투영되는 조사면적으로서 산란면적이다.

Eq. (3)에서 Eq. (4)는 아래의 계산 인자들을 대입하여 얻었다. 적용한 계산 인자들은 다음과 같다. U_0 는 0.25 이고, f 는 $6 \sim 25 \text{ MV}$ 에서 $0.23 \sim 0.38$ 이므로 보수적으로 0.38 을 적용하였다. a_w 는 X-선 빔의 수직입사에 대한 콘크리트 벽 반사계수 중 가장 보수적인 값인 5.35×10^{-3} 을 사용하였다. A_w 는 1 m 거리에서의 조사야가 400 cm^2 일 때 거리 5 m 에서 벽 산란면적은 확대율 5 를 곱하여 계산된 면적인 1 m^2 을 적용하였다.

1.3 헤드누설 빔의 벽 산란에 기인한 선량률(D_{hLS})

헤드누설 빔의 벽 산란에 기인한 선량률 계산

식은 Eq. (5)로 유도된다.

$$D_{hLS} = \frac{0.001 WU_0 C a_w A_w}{d_w^2 d_{wd}^2} \quad (5)$$

$$= 0.001 \times 0.25 \times 5.35 \times 10^{-3} \times 10 \times \frac{CW}{d_w^2 d_{wd}^2}$$

$$= 1.34 \times 10^{-5} \frac{CW}{d_w^2 d_{wd}^2} \quad (6)$$

여기서 $0.001(0.1\%)$ 는 헤드누설에 기인하는 선량 분율이고, C 는 IMRT인자로서 $2 \sim 10$ 또는 그 이상의 값을 가질 수 있다.

Eq. (5)에서 Eq. (6)은 아래의 계산 인자들을 대입하여 얻었다. 적용한 계산 인자들은 다음과 같다.

산출조건은 다음과 같다. U_0 는 0.25 이고, a_w 는 5.35×10^{-3} 을 사용하였다. A_w 는 헤드누설 벽 산란면적으로 보수적으로 10 m^2 으로 계산하여 적용하였다.

1.4 헤드누설 빔에 기인한 선량률(D_{hLd})

헤드누설 빔에 기인한 선량률 계산식은 Eq. (7)과 (8)로 유도된다.

$$D_{hLd} = \frac{0.001 WCU_0}{d_d^2} \quad (7)$$

$$= 2.5 \times 10^{-4} \frac{CW}{d_w^2 + d_{wd}^2}$$

$$= 2.5 \times 10^{-4} \frac{CW}{d_d^2} = 2.5 \times 10^{-4} \frac{CW}{d_w^2 + d_{wd}^2} \quad (8)$$

여기서 U_0 는 0.25 이다.

1.5 직접차폐식 도어에서 선량률 계산식

직접차폐식 도어에서 선량률(D_{dLS})은 Eq. (1), (3), (5)와 (7)의 합으로서 Eq. (9), 그리고 Eq. (2), (4), (6)과 (8)의 합으로서 Eq. (10)이 유도된다.

$$\begin{aligned}
 D_{dLS} &= 2.64 \times (D_{ptS} + D_{wSd} + D_{hLS} + D_{hLd}) \quad (9) \\
 &= 2.64 \times (8.13 \times 10^{-4} \frac{W}{d_w^2 + d_{wd}^2} \\
 &\quad + 5.1 \times 10^{-4} \frac{W}{d_w^2 d_{wd}^2} + 1.34 \times 10^{-5} \frac{CW}{d_w^2 d_{wd}^2} \\
 &\quad + 2.5 \times 10^{-4} \frac{CW}{d_w^2 + d_{wd}^2}) \quad (10)
 \end{aligned}$$

여기서 2.64는 안전계수이다. Eq. (10)의 C에 IMRT인자 5를 대입하면 Eq. (11)이 유도된다.

$$\begin{aligned}
 D_{dLS} &= 2.64 \times (2.063 \times 10^{-3} \frac{W}{d_w^2 + d_{wd}^2} \\
 &\quad + 5.77 \times 10^{-4} \frac{W}{d_w^2 d_{wd}^2}) \\
 &= (\frac{5.45 \times 10^{-3}}{d_w^2 + d_{wd}^2} + \frac{1.52 \times 10^{-3}}{d_w^2 d_{wd}^2}) W \quad (11)
 \end{aligned}$$

Table 1. C₁ and C₂ values according to changes in IMRT factors

C	C ₁	C ₂	C	C ₁	C ₂
1	2.81×10 ⁻³	1.38×10 ⁻³	11	9.41×10 ⁻³	1.74×10 ⁻³
2	3.47×10 ⁻³	1.42×10 ⁻³	12	1.01×10 ⁻²	1.77×10 ⁻³
3	4.13×10 ⁻³	1.45×10 ⁻³	13	1.07×10 ⁻²	1.81×10 ⁻³
4	4.79×10 ⁻³	1.49×10 ⁻³	14	1.14×10 ⁻²	1.84×10 ⁻³
5	5.45×10 ⁻³	1.52×10 ⁻³	15	1.20×10 ⁻²	1.88×10 ⁻³
6	6.11×10 ⁻³	1.56×10 ⁻³	16	1.27×10 ⁻²	1.91×10 ⁻³
7	6.77×10 ⁻³	1.59×10 ⁻³	17	1.34×10 ⁻²	1.95×10 ⁻³
8	7.43×10 ⁻³	1.63×10 ⁻³	18	1.40×10 ⁻²	1.98×10 ⁻³
9	8.09×10 ⁻³	1.66×10 ⁻³	19	1.47×10 ⁻²	2.02×10 ⁻³
10	8.75×10 ⁻³	1.70×10 ⁻³	20	1.53×10 ⁻²	2.05×10 ⁻³

Eq. (11)로부터 IMRT인자(C)의 변화에 따른 직접차폐식 도어에서 선량률 계산식은 Eq. (12)로 일반화 된다.

$$D_{dLS} = (\frac{C_1}{d_w^2 + d_{wd}^2} + \frac{C_2}{d_w^2 d_{wd}^2}) W \quad (12)$$

IMRT인자의 따른 C₁과 C₂의 값은 Table 1로부터 얻을 수 있다.

1.6 직접차폐식 도어의 납 차폐 두께 계산식

6 MV X-선 빔의 2차선에 대한 십가층(TVL)의 두께 45 mm^[3]를 적용한 설계선량률한도(P) 계산식은 Eq. (13)으로 주어진다.

$$P = D_{dLS} \times 0.1^{\frac{t}{45\text{mm}}} \quad (13)$$

Eq. (13)으로부터 도어의 납 차폐 두께 계산식은 Eq. (14)로 유도된다.

$$t = -45\text{mm} \times \log(\frac{P}{D_{dLS}}) \quad (14)$$

여기서 P는 설계선량률한도로서 차폐설계목표(Sv/week)이고, D_{dLS}는 직접차폐식 도어에서 총 선량률(Sv/week)이며, t는 납 두께(mm)이다.

2. NCRP 및 IAEA 2차 방벽 차폐 두께 계산 방법

2.1 환자 산란 방사선에 필요한 방벽 투과계수 (투과율)

$$B_{ptS} = \frac{P d_{SAD}^2 d_c^2}{a_{pt} \frac{F}{400\text{cm}^2} WT} \quad (15)$$

여기서 d_{SAD}는 X-선 표적으로부터 등선량중심까지 거리이고, T는 어떤 영역의 점유율(occupancy factor)로서 빔이 켜져 있는 동안 최대한으로 피폭되는 사람이 존재하는 시간의 평균 분율이다.

2.2 누설방사선만의 방벽 투과계수

$$B_L = \frac{Pd_c^2}{0.001W_L T} = \frac{Pd_c^2}{0.001CWT} \quad (16)$$

여기서 W_L 는 누설방사선 부하로서 CW 이고, C 는 IMRT인자이다.

2.3 차폐 두께 계산 방법

환자 산란 방사선에 필요한 방벽 투과계수와 누설방사선만의 방벽 투과계수로부터 TVL의 수(n)는 Eq. (17)로부터 산출된다.

$$n = \log_{10}\left(\frac{1}{B}\right) \quad (17)$$

여기서 B 는 방벽 투과계수로서 B_{ptS} 또는 B_L 을 대입할 수 있다.

Eq. (17)로부터 산출된 TVL 수로부터 환산된 차폐 물질의 두께는 환자 산란 방사선과 누설방사선에 대하여 각각 구한다. 환자 산란 방사선과 누설방사선의 차폐 물질의 두께 차이가, TVL보다 클 경우에는 큰 쪽 두께를 차폐 두께로 결정하고, TVL보다 작을 때에는 큰 쪽 두께에 HVL(반가층)을 더하여 차폐 두께로 결정한다. 이러한 2선원규칙을 적용하여 최종 차폐 두께를 결정하게 된다.

3. 직접차폐식 도어의 차폐 두께 계산식과 NCRP 및 IAEA 2차 방벽 차폐 두께 계산 방법으로 부터 차폐 두께 계산

6 MV X-선 빔이 이용되는 치료실의 직접차폐식 도어와 2차 방벽의 차폐 두께 계산은 Fig. 1에서 보여주는 치료실의 도식적 배치와 Table 2에서 보여주는 계산인자들을 적용하여 수행하였다.

Table 2. Calculation factors

P [μ Sv/w]	d_{SAD} [m]	d_c [m]	d_{ud} [m]	d_w [m]	a_{pt}	F^2 [cm ²]	W^2 [μ Gy·m ² /w]	T	C
400	1	4.972	4.972	4	0.00325	400	1000×106	1	5

3.1 직접차폐식 도어의 차폐 두께 계산식으로부터 산출된 차폐 두께

Table 1로부터 얻은 IMRT인자(C) 5에 대응하는 C_1 과 C_2 값, table 2에 기재된 d_w 와 d_{ud} 의 거리를 Eq. (12)에 대입하여 D_{dLS} 는 계산되었다. 이 선량률과 P 값을 Eq. (14)에 대입하여 납 차폐 두께는 산출되었다.

3.2 NCRP 및 IAEA 2차 방벽 차폐 두께 계산 방법으로 부터 차폐 두께

환자 산란 방사선에 필요한 방벽 투과계수 B_{ptS} 와 누설방사선만의 방벽 투과계수 B_L 는 table 2에 기재된 관련 계산인자들을 적용하여 각각 산출하였다. 이 투과계수들을 Eq. (17)에 대입하여 TVL의 수는 각각 얻었다. 얻어진 TVL의 수와 Table 3에서 표기된 십가층 두께를 곱하여 구해진 환자 산란방사선과 누설방사선의 콘크리트 차폐 물질의 두께는 각각 계산하였다.

Table 3. TVL of concrete layers for patient scattering and leakage radiation

MV	Patient scattering radiation(mm)	Leakage radiation(mm)
6	171	279

III. RESULT

이 연구는 직접차폐식 도어에서 선량률(D_{dLS}) 계산식을 유도하였다. 직접차폐식 도어의 납 차폐 두께를 계산하기 위하여, Table 2에 기재된 관련 계산인자들의 적용으로부터 계산된 D_{dLS} 와 납 차폐 두께는 각각 0.1377 Sv/w와 114.2 mm를 얻었다.

NCRP 및 IAEA 2차 방벽 차폐 두께 계산 방법에

서 Table 2에 기재된 관련 계산인자들을 적용하여 계산된 환자 산란 방사선에 필요한 방벽 투과계수 B_{ptS} 와 누설방사선만의 방벽 투과계수 B_L 는 각각 0.003043와 0.001978을 얻었다. 이 투과계수들로부터 TVL의 수는 각각 2.52와 2.7으로 산출되었다. 산출된 TVL의 수와 Table 3에서 표기된 십가층 두께를 곱하여 환자 산란 방사선과 누설방사선의 콘크리트 차폐 두께는 각각 430.92 mm와 753.3 mm으로 얻었다. 이 결과로부터 누설방사선의 콘크리트 차폐 두께가 환자 산란 방사선의 차폐 두께보다 더 크게 계산되었다는 것을 알 수 있다. 이 두께 차이는 322.38 mm로서 콘크리트 십가층 두께보다 크다. 따라서 2선원규칙에 의하여 2차 방벽의 두께는 얻어진 누설방사선의 콘크리트 차폐 두께로서 753.3 mm, TVL은 2.7로 결정되었다. 이 두께의 등가 납 두께는 누설방사선의 콘크리트 차폐 물질의 TVL의 수 2.7과 2차선에 대한 TVL의 납 두께 45 mm를 곱함으로써 121.5 mm로 얻었다.

결과적으로 NCRP 및 IAEA 2차 방벽 차폐 두께 계산 방법으로 산출된 납 차폐 두께가 직접차폐식 도어의 차폐 두께 계산식에 의해 계산된 두께보다 더 크게 나타났다.

IV. DISCUSSION

NCRP 및 IAEA 2차 방벽 차폐 두께 계산 방법으로 산출된 납 차폐 두께가 직접차폐식 도어의 차폐 두께 계산식에 의해 계산된 두께보다 약 6% 높게 계산되었다. 이것은 NCRP 및 IAEA 2차 방벽 차폐 두께 계산 방법으로부터 두께 계산이 더 보수적이고 2차 빔 차폐에 잘 맞는다는 의미로 해석된다.

도어 및 2차 방벽 납 차폐 두께는 IMRT인자가 증가할수록 증가한다. 이것에 대한 예로서 table 4는 직접차폐식 도어의 차폐 두께 계산식에 의해 계산된 두께를 보여준다. 여기서 IMRT인자(C)는 기존 방사선치료(conventional radiation therapy)에서 처방선량 전달에 필요한 흡수선량당 감시단위(MU, monitor unit)에 대한 강도변조방사선치료(IMRT, intensity modulated radiation therapy)에서 처방선량 전달에 필요한 단위 흡수선량당 평균 감시단위의 비로서 Eq. (18)로 표현된다.[8-10] 누설방사선의 부

하는 IMRT인자에 비례하여 증가한다. 따라서 차폐 두께도 증가하게 된다.

$$C = \frac{MU_{IMRT}}{MU_{conv}} \quad (18)$$

Table 4. Lead shielding thicknesses and dose rates at the door

C	$D_{dLS}(Sv/w)$	Pb(mm)
5	0.1377	114.2
6	0.1884	119.8
7	0.2053	122.0
8	0.2225	123.0
9	0.2394	125.0
10	0.2566	126.3

광중성자는 1차 광자의 에너지가 8 MeV 이상일 때 차폐 물질과의 상호작용으로 생성된다.^[4] NCRP 보고서 No. 79에 의하면 입사 광자의 에너지가 10 MeV를 초과하지 않을 때 광중성자는 크게 의미가 없다고 보고한다.^[4] 따라서 본 연구에서는 광중성자에 의한 중성자 선량과 중성자 포획 감사선 선량을 고려하지 않았다.

이 연구는 직접차폐식 도어에서 선량률 계산식을 유도한 후 이 식을 납 차폐 두께 계산식에 대입하여 도어의 납 두께 계산식을 유도하였다. 이 식으로부터 산출된 두께는 NCRP 및 IAEA 2차 방벽 차폐 두께 계산 방법에 의해 계산된 두께에 근사적으로 일치하였다. 따라서 직접차폐식 도어의 납 두께 계산식은 임상에서 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

V. CONCLUSION

NCRP 보고서 151과 IAEA 안전 보고서 시리즈 47 기반으로 직접차폐식 도어에서 선량률 계산식을 유도한 후, 이 식을 납 차폐 두께 계산식에 대입하여 도어의 납 두께 계산식을 유도하였다. 유도된 도어의 납 두께 계산식으로부터 얻어진 납 두께는 NCRP 및 IAEA 2차 방벽 차폐 두께 계산 방법으로

산출된 두께와 근사적으로 일치하였다. 이 결과로부터 유도된 직접차폐식 도어의 납 두께 계산식은 도어의 차폐 설계에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

Reference

- [1] A. M. Morrow, "Radiation shielding and bunker design," *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, Vol. 18, No. 1, pp. 13320-13330, 2019. <http://dx.doi.org/10.26717/BJSTR.2019.18.003106>
- [2] B. Mishra, T. Palani Selvam, P. K. Dash Sharma, "Structural shielding design of a 6 MV flattening filter free linear accelerator: Indian Scenario," *Journal of Medical Physics*, Vol. 42, No. 1, pp. 18-24, 2017. http://dx.doi.org/10.4103/jmp.JMP_99_16
- [3] Safety Reports Series No. 47, "Radiation protection in the design of radiotherapy facilities," International Atomic Energy Agency, 2006.
- [4] NCRP Report No. 151, "Structural shielding design and evaluation for megavoltage X- and gamma-ray radiotherapy facilities," National Council on Radiation Protection & Measurements, 2005.
- [5] G. A. Ezzell, "Shielding evaluation and acceptance testing of a prefabricated, modular, temporary radiation therapy treatment facility," *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, Vol. 5, No. 4, pp. 120-125, 2004. <http://dx.doi.org/10.1120/jacmp.v5i4.2025>
- [6] M. F. Uddin¹, M. M. Ahasan, R. Khatun, S. Akter, H. M. Jamil, A. N. Monika, M. A. Rahman, "Shielding design basis and its calculation of high energy medical linac installed in bangladesh atomic energy commission, bangladesh," *Universal Journal of Medical Science*, Vol. 25, No. 2, pp. 27-31, 2017. <http://dx.doi.org/10.13189/ujmsj.2017.050202>
- [7] M. C. Martin, "Linear Accelerator Direct Shielded Doors - An Approach for Calculating the Specialized Shielding Required Adjacent to the Door," *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, IFMBE Proceedings* Vol. 25, No.3, pp. 431-434, 2009. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-03902-7_122
- [8] D. Followill, P. Geis, A. Boyer, "Estimates of whole-body dose equivalent produced by beam intensity modulated conformal therapy," *International Journal of Radiation Oncology·Biology·Physic*, Vol. 38, No. 3, pp. 667-672, 1997. [http://dx.doi.org/10.1016/s0360-3016\(97\)00012-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0360-3016(97)00012-6)
- [9] S. Mutic, D. A. Low, E. E. Klein, J. F. Dempsey, J. A. Purdy, "Room shielding for intensity-modulated radiation therapy treatment facilities," *International Journal of Radiation Oncology·Biology·Physic*, Vol. 50, No. 1, pp. 239-241, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/s0360-3016\(01\)01463-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0360-3016(01)01463-8)
- [10] J. E. Rodgers, "Radiation therapy vault shielding calculational methods when IMRT and TBI procedures contribute," *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, Vol. 2, No. 3, pp. 157-164, 2001. <http://dx.doi.org/10.1120/jacmp.v2i3.2609>

6 MV X-선 빔을 사용하는 치료실에 설치되는 직접 차폐식 도어의 차폐 두께 계산식

박철서,¹ 김종언,² 강은보^{3,*}

¹케이비엔지니어링(주) 기업부설연구소

²가야대학교 방사선학과

³동의과학대학교 방사선학과

요 약

이 연구의 목적은 NCRP 보고서 151과 IAEA 안전 보고서 시리즈 47 기반으로 직접차폐식 도어의 납 두께 계산식을 유도하는 데 있다. 직접차폐식 도어에서 선량률 계산식을 유도한 후, 이 식을 납 차폐 두께 계산식에 대입하여 도어에서 차폐 두께 계산식을 유도하였다. 유도된 직접차폐식 도어의 차폐 두께 계산식으로부터 계산된 납 차폐 두께는 NCRP 및 IAEA 2차 방벽 차폐 두께 계산 방법으로 산출된 두께보다 약 6% 낮았다. 이 결과는 NCRP 및 IAEA 2차 방벽 차폐 두께 계산 방법으로부터 두께 계산이 더 보수적이고 2차 빔 차폐에 잘 맞는다는 의미로 해석된다. 결론적으로, 이 연구에서 유도된 직접차폐식 도어의 납 차폐 두께 계산식은 도어의 차폐 설계에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

중심단어: 차폐, 도어, 2차 빔, 헤드누설, 환자산란

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	박철서	케이비엔지니어링(주)	상무이사
(공동저자)	김종언	가야대학교 방사선학과	부교수
(교신저자)	강은보	동의과학대학교 방사선과	조교수