

# X선촬영실의 콘크리트 방어벽 두께 계산에 관한 연구

## — A Study on Calculation of the Thickness of Concrete Protective Barrier of X-ray Radiographic Room —

부경대학교 물리학과

박 철 서

### — 국문초록 —

본 연구의 목적은 X-선촬영장치의 1차방어벽두께 계산에 관한 쉬운 방법의 연구이다.

X-선촬영장치에 대한 1차방어벽의 두께 계산을 위하여, 차폐물질은 콘크리트를 선택하였다. 방어벽의 구역들은 관리구역과 비관리구역으로 분류하였다. 두께의 계산은 NCRP 보고서 49와 51의 데이터를 사용하였다. 최대관전압 100과 150 kVp를 갖는 X-선촬영장치들에 대하여, 콘크리트 두께들은 거리의 함수로서 계산되었다.

계산된 데이터로부터, 식 (3), (4), (5), 그리고 (6)은 지수감소함수의 정합을 수행하여 얻었다.

본 연구에서 얻어진 수식들로부터, 1차방어벽의 두께는 근사적으로 계산할 수 있다.

**중심 단어:** 차폐, 콘크리트, X-선촬영장치, 방어벽

## I. 서 론

영상의학과에서 촬영실 구조들은 X-선장치에 대한 방어벽 두께를 고려하여 설계한다. 방어벽의 물질은 주로 콘크리트를 사용한다<sup>1)</sup>. 이 물질은 지금도 좋은 품질을 위해 활발한 연구와 개발이 진행되고 있다<sup>2-6)</sup>. 방사선사는 콘크리트 두께를 기입한 대략적인 도면을 설계하여 건축사에게 제공하여야 한다. 이때 방어벽의 두께는 NCRP 보고서 49에 있는 계산식을 사용하여 감쇠곡선으로부터 차폐 두께를 구한다<sup>7)</sup>. 그러나 이 방법은 시간이 많이 소비되고, 번거롭고 복잡하다.

본 연구의 목적은 NCRP 보고서 49의 계산식으로부터 구한 방어벽 두께들의 기반으로 임상에서 쉽고 빠르게 사용할 수 있는 1차방어벽 두께 계산에 관한 쉬운 방법의 연구이다.

방사선 방어의 첫 번째 목적은 개인이 받는 선량이 적용할 수 있는 최대허용값(maximum permissible value)을 초과하지 않고, 실행 가능한 한 낮게 보증하는 것이다. 그리고 두 번째 목적은 방사선에 민감한 장치들의 손상을 예방하는 것이다<sup>7)</sup>. 따라서, X-선촬영실의 차폐는 방사선관계종사자, 일반인, 그리고 장치에 대해서 아주 중요하게 작용한다. 방사선관계종사자를 위한 차폐설계는 주당 최대허용값을 1 mSv/w, 그리고 일반인을 위한 차폐설계는 주당 최대허용값을 0.1 mSv/w로 적용한다<sup>7)</sup>. 이 수치는 진단용 방사선발생장치의 안전관리에 관한 규칙 별표 2 방사선방어시설검사기준과 같다. 그러나 방사선안전 측면에서 원자력법과 관련된 방사선안전관리 등의 기술기준에 관한 규칙 제 3조의 방사선 관리구역 기준인

\*접수일(2010년 8월 11일), 1차심사(2010년 11월 9일), 2차심사(2010년 12월 2일), 확정일(2010년 12월 9일)

교신저자: 박철서, (608-737) 부산 남구 대연3동 599-1  
부경대학교 공동실험실습관 503호  
TEL: 051-629-6882, CP: 010-4541-2066  
FAX: 051-629-6882, E-mail: pcs0618@nate.com

0.4 mSv/w를 방사선관계종사자에 대해 적용하고, 비관리 구역을 점유하는 일반인에 대해서는 1/20인 0.02 mSv/w를 적용하였다.

본 연구에서 적용한 물질은 콘크리트이다. 두 개의 관전압에 대하여 NCRP 보고서 49의 투과 계산식을 사용하여, 거리에 따라 1차방어벽(primary protective barrier)의 두께를 구한다. 이 두께들은 관리구역과 비관리구역으로 분류된다. 그리고 관전압에 대한 거리의 함수로서 구한 두께들은 정량적인 값과 수식으로 나타내고자 한다.

## II. 재료 및 방법

NCRP 보고서 49를 사용하여, 통상 X-선촬영(general radiography) 조건 하에서 관전압과 거리의 함수로서 1차방어벽 두께를 구하기 위하여 차폐물질을 콘크리트로 사용하였다<sup>7)</sup>. 그리고 콘크리트 두께에 대한 투과계수 [transmission=transmission rate(투과 비)]의 자료는 NCRP 보고서 51의 부록 E(appendix E)를 사용하였다. 이것은 0.1에서 0.4 MeV까지 에너지를 갖는 전자들에 의해 생성된 X-선들의 콘크리트를 통한 넓은 빔(broad-beam)의 투과 그래프이다<sup>8)</sup>. 여기에서 값들은 그래프를 스캔한 다음, 한글 프로그램을 사용하여 읽었다.

### 1. 1차방어벽의 계산식

1차방어벽의 두께를 구하기 위하여, 투과계수를 먼저 계산한다. 다음으로 콘크리트 두께에 대한 투과계수의 그래프로부터 계산된 투과계수에 대응하는 두께를 읽는다. 이 때 투과계수( $K_{ux}$ )를 얻기 위한 계산식은 다음과 같다<sup>7)</sup>.

$$K_{ux} = \frac{P(d_{pri})^2}{WUT} \dots\dots\dots (1)$$

여기에서  $K_{ux}$ 는 투과계수로서 1m에서 규격화된 이용빔(useful beam)에 대한 1주에 R/mA min이고,  $P$ 는 허용할 수 있는 주당 조사선량(R/week)이며,  $d_{pri}$ 는 표적(target)으로부터 1차선의 관심점까지 거리이다. 그리고  $W$ 는 주당 가동하중(weekly workload)으로서 X선발생 장치의 가동용량을 말하며 단위는 mA min/week이고,  $U$ 는 이용률(use factor)이며,  $T$ 는 점유도(occupancy factor)이다.

식 (1)에서  $P$ 의 단위를 mSv/week로 환산하면 식 (2)

로 유도된다.

$$K_{ux} = \frac{0.1F(d_{pri})^2}{WUT} \dots\dots\dots (2)$$

여기에서 단위를 환산할 때, 보수적인 관점에서 조사선량  $2.58 \times 10^{-4}$  C/kg을 물의 흡수선량 0.01 Gy와 같게 사용하였으며, 방사선가중치를 고려하면 0.01 Sv이다.

### 2. 1차방어벽의 투과 계산

#### 1) 최대관전압 100 kVp를 갖는 X-선장치

비관리구역은 일반인들이 점유하는 구역이다. 식 (2)로부터 투과를 계산하기 위하여 사용한 데이터는 다음과 같다: 주당 최대허용값은 0.02 mSv/w; 매일 환자 하중(daily patient load)과 주당 가동하중( $W$ )들은 NCRP 보고서 49의 부록 C에 있는 표 2의 데이터에서 각각 24와 1,000 mA·min/w; 이용률( $U$ )은 NCRP 보고서 49의 부록 C에 있는 표 3의 데이터에서 벽에 대응되는 수치로서 1/4; 점유도( $T$ )는 NCRP 보고서 49의 부록 C에 있는 표 4의 데이터에서 부분 점유에 대응되는 수치로서 1/4 등을 사용하였다.

관리구역은 방사선관계종사자가 점유하는 구역이다. 투과를 계산하기 위하여, 주당 최대허용값은 0.4 mSv/w, 그리고 점유도( $T$ )는 1을 사용하였다. 그 외 데이터들은 비관리구역과 동일하게 사용하였다.

#### 2) 최대관전압 150 kVp를 갖는 X-선장치

비관리구역에서 투과를 계산하기 위하여 사용한 데이터는 다음과 같다: 주당 최대허용값은 0.02 mSv/w; 매일 환자 하중(daily patient load)과 주당 가동하중( $W$ )들은 각각 24와 200 mA·min/w; 이용률( $U$ )은 1/4; 점유도( $T$ )는 1/4 등을 사용하였다.

관리구역에서 투과를 계산하기 위하여, 주당 최대허용값은 0.4 mSv/w, 그리고 점유도( $T$ )는 1을 사용하였다. 그 외 데이터들은 비관리구역과 동일하게 사용하였다.

## III. 결과 및 논의

X-선관 표적으로부터 방출되는 1차 빔은 Fig. 1에서 보여주는 바와 같이 비관리구역과 관리구역으로 각각 조사되도록 방향을 설정하였다.

Table 1은 최대관전압 100 kVp X-선장치로부터 얻어진 거리의 함수로서 콘크리트 두께와 투과를 보여준다. 여기에서 거리가 증가함으로서 투과는 감소하고, 그리고 콘크리트 두께는 증가한다. 그리고 비관리구역에서의 콘크리트 두께가 관리구역보다 더 큰 값을 보여준다. Fig. 2는 최대관전압 100 kVp X-선장치에서 거리에 대한 콘크리트 두께를 지수감소함수(exponential decay function)의 정합(fit)으로부터 얻어진 수식들을 보여주며, 관리구역과 비관리구역에 대응되는 각각의 수식들은 식 (3)과 식 (4)로서 아래와 같이 주어진다.

$$Y=14.03e^{-X/2.61}+9.18 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$Y=13.86e^{-X/2.93}+12.38 \quad \dots\dots\dots (4)$$

여기서  $X$ 는 표적으로부터 1차선의 관심점까지 거리이고,  $Y$ 는 콘크리트 두께이다.

Table 2는 최대관전압 150 kVp X-선장치로부터 얻어진 거리의 함수로서 콘크리트 두께와 투과를 보여준다. 여기에서도, 거리가 증가함으로서 투과는 감소하고 그리고 콘크리트 두께는 증가한다. 그리고 비관리구역에서의 콘크리트 두께가 관리구역보다 더 큰 값을 나타냈다. Fig. 3은 최대관전압 150 kVp X-선장치에서 거리에 대한 콘크리트 두께를 지수감소함수의 정합으로부터 얻어진 수식들을 보여주며, 관리구역과 비관리구역 대응되는 각각의 수식들은 식 (5)와 식 (6)로서 아래와 같이 주어진다.

$$Y=17.51e^{-X/2.61}+7.99 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$Y=19.22e^{-X/2.56}+12.32 \quad \dots\dots\dots (6)$$

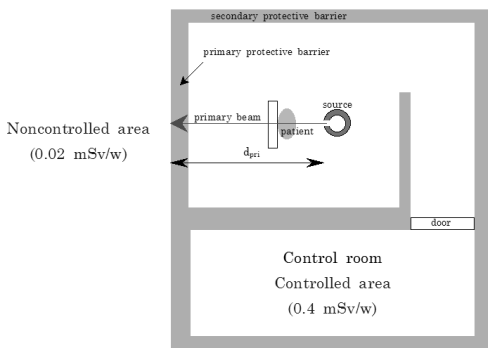


Fig. 1. Geometry used for computing thickness of primary protective barrier

Table 1. Thickness and transmission of concrete as a function of distance at radiographic equipment with a maximum tube voltage 100 kVp

Distance (m)	100 kVp			
	Controlled area		Noncontrolled area	
	Transmission	Thickness (cm)	Transmission	Thickness (cm)
1	0.00016	19	0.000032	22.5
1.5	0.00036	16.8	0.000072	20.5
2	0.00064	15.5	0.000128	19
2.5	0.001	14.5	0.0002	18.3
3	0.00144	13.6	0.000288	17.5
3.5	0.00196	13	0.000392	16.7
4	0.00256	12.5	0.000512	16
4.5	0.00324	11.8	0.000648	15.5
5	0.004	11.2	0.0008	15
5.5	0.00484	10.7	0.000968	14.4
6	0.00576	10.5	0.001152	14

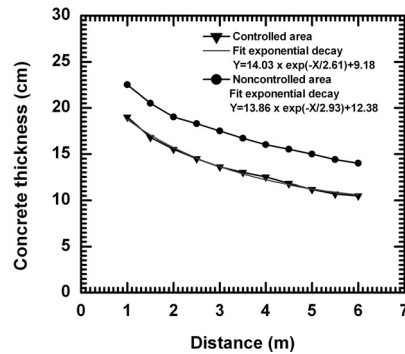
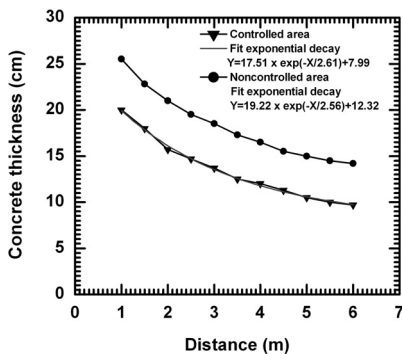


Fig. 2. Thickness of concrete as a function of distance at radiographic equipment with a maximum tube voltage 100 kVp

방사선관계종사자와 일반인을 위한 방사선차폐와 방어벽의 계산은 이용할 수 있는 데이터의 정확성에 직접적으로 관련된다<sup>9)</sup>. 본 연구에서는 NCRP 보고서의 데이터를 사용하였다. 그리고 이들에 대한 피폭선량은 ALARA의 원리에 따라 합리적으로 달성 가능한 한 낮게 유지되도록 하여야 한다<sup>10)</sup>. 또한 연간 선량한도를 초과한 선량을 받지 않도록 하여야 한다. 이런 근거에 의해서, X-선촬영실의 방어벽의 두께에 대한 지식과 피폭선량의 인식이 중요하다.

**Table 2.** Thickness and transmission of concrete as a function of distance at radiographic equipment with a maximum tube voltage 150 kVp

Distance (m)	150 kVp			
	Controlled area		Noncontrolled area	
	Transmission	Thickness (cm)	Transmission	Thickness (cm)
1	0.0008	20	0.00016	25.5
1.5	0.0018	18	0.00036	22.8
2	0.0032	15.7	0.00064	21
2.5	0.005	14.7	0.001	19.5
3	0.0072	13.7	0.00144	18.5
3.5	0.0098	12.5	0.00196	17.3
4	0.0128	12	0.00256	16.5
4.5	0.0162	11.3	0.00324	15.5
5	0.02	10.5	0.004	15
5.5	0.0242	10	0.00484	14.5
6	0.0288	9.7	0.00576	14.2



**Fig. 3.** Thickness of concrete as a function of distance at radiographic equipment with a maximum tube voltage 150 kVp

X-선촬영실의 벽은 벽돌(brick)로 구성된 경우도 있다. 이 경우에, 방어벽의 두께는 벽돌의 밀도( $\rho_{bri}$ , 1.65 g/cm<sup>3</sup>)에 대한 콘크리트의 밀도( $\rho_{con}$ , 2.35 g/cm<sup>3</sup>)의 비를 고려하여 계산된다. 콘크리트 두께( $t_{con}$ )와 동일한 차폐능을 가지기 위한 벽돌의 두께( $t_{bri}$ )는 식 (7)로 구해진다.

$$t_{bri} = \frac{\rho_{con}}{\rho_{bri}} \times t_{con} \quad \dots \dots \dots (7)$$

또한, 다른 차폐물질도 식 (7)에 적용하여 방어벽의 두께를 계산할 수 있다.

본 연구는 X-선촬영 조건 하에서 각 X-선장치들에 대하여 거리의 함수로서 1차방어벽인 콘크리트의 두께를 계산하였다. 또한 계산된 데이터로부터 지수감소함수의 정합에 의해서 수식들을 얻었다. 이 수식들은 아주 간단하게 방어벽의 두께를 계산할 수 있는 식을 제공한다. 다른 촬영조건 하에서 이와 같은 수식들을 만들어 놓으면, 방어벽의 두께들은 시간의 절약으로 빠르게 계산할 수 있다. 또한 방사선관계종사자들이 자신의 피폭관리에 기여할 수 있고, X-선촬영실을 설계할 때 도면의 작성과 촬영실의 공간 확보에 도움을 줄 것으로 생각된다.

#### IV. 결 론

X-선촬영장치에 대한 1차방어벽의 두께를 계산하기 위하여, 차폐물질은 콘크리트를 선택하였다. 방어벽의 구역들은 관리구역과 비관리구역으로 분류하였다. 두께의 계산은 NCRP 보고서 49와 51의 데이터를 사용하였다. 최대관전압 100과 150 kVp를 갖는 X-선촬영장치들에 대하여, 콘크리트 두께들은 거리의 함수로서 계산되었다. 계산된 데이터로부터, 식 (3), (4), (5), 그리고 (6)은 지수감소함수의 정합을 수행하여 얻었다.

본 연구에서 얻어진 수식들로부터, 1차방어벽의 두께는 근사적으로 계산할 수 있다.

#### 참 고 문 헌

1. Okunade AA.: Comparison of Lead Attenuation and Lead Hardening Equivalence of Materials Used in Respect of Diagnostic X-ray Shielding, Applied Radiation and Isotopes, 57, 819-824, 2002
2. Akkurt I, Akyildirim H, Mavi B, Kilincarslan S, Basyigit C.: Radiation Shielding of Concrete Containing Zeolite, Radiation Measurements, 45, 827-830, 2010
3. Kharita MH, Takeyeddin M, Alnassar M, Yousef S.: Development of Special Radiation Shielding Concretes Using Natural Local Materials and Evaluation of Their Shielding Characteristics, Progress in Nuclear, 50, 33-36, 2008

4. Kharita MH, Yousef S, Alnassar M.: the Effect of the Initial Water to Cement ratio on Shielding Properties of Ordinary Concrete, *Progress in Nuclear*, 52, 491–493, 2010
5. Akkurt I, Basyigit C, Kilincarslan S, Mavi B, Akkurt A.: Radiation Shielding of Concretes Containing Different Aggregates, *Cement & Concrete Composites*, 28, 153–157, 2006
6. Basyigit C, Akkurt I, Altindag R, *et al.*: the Effect of Freezing–Thawing(F–T) Cycles on the Radiation Shielding Properties of Concretes, *Building and Environment*, 41, 1070–1073, 2006
7. NCRP Report 49: Structural Shielding Design and Evaluation for Medical Use of X Rays and Gamma Rays of Energies up to 10 MeV, Bethesda, 1976
8. NCRP Report 51: Radiation Protection Design Guidelines for 0.1–100 MeV Particle Accelerator Facilities, Bethesda, 1977
9. Akber SF, Das IJ, Kehwar TS.: Broad Beam Attenuation Measurements in Lead in Kilovoltage X-ray Beams, *Z. Med. Phys*, 18, 197–202, 2008
10. Okano T, Sur J.: Radiation Dose and Protection in Density, *Japanese Dental Science Review*, 46, 112–121, 2010

---

• Abstract

---

## A Study on Calculation of the Thickness of Concrete Protective Barrier of X-ray Radiographic Room

Cheol-Seo Park

*Department of Physics, Pukyeong National University*

In this paper we proposed an easy method to calculate the thickness of primary protective barrier for radiographic equipment. The concrete was selected for the shielding material. The area of protective barrier was divided into a controlled area and a noncontrolled area. For the computation of thickness, the data in NCRP Report 49 and 51 was used. For radiographic equipments whose maximum tubevoltages are 100 and 150 kVp, the thicknesses of concrete were calculated as a function of distance. From the calculated data, four analytical models were acquired by fitting an exponential decay function. From the equations acquired by this study, the thickness of primary protective barrier can be calculated approximately.

---

**Key Words :** Shielding, Concrete, Radiographic equipment, Protective barrier