

LEDITE를 이용한 광자선 차폐효과

영동세브란스병원 방사선종양학과

김종대 · 윤성익 · 김세준 · 김동욱

I. 서 론

방사성동위원소나 방사선발생장치를 이용하는 시설은 다른 일반 시설과는 달리 방사선을 시설 내·외부로 방출하며 때문에 종사자는 물론 인근 주민도 방사선에 어느 정도 피폭되게 마련이다. 일반적으로 방사선시설을 설계하거나 기존의 시설을 개선하는 작업은 매우 복잡한 반복적인 과정으로서 다수의 논리적 시스템에 관한 변수 및 특성들이 비용 조건과 연관된다.

환경오염 방지와 불필요한 방사선 피폭을 줄이기 위해서는 방사선 이용시설로부터 방사선을 적절히 감쇄시켜 인체, 시설 등 대상물에 방사선이 피폭되는 것을 가능한 적게 하는 것이다.

방사선방어에 관한 원칙은 국제 방사선 방어위원회(International Commission on Radiological Protection, ICRP)의 권고가 국제적 기준으로 통용되고 있다. 그러므로 세계각국은 이들 방사선에 대한 허용선량을 법제화하여 허용선량 이상의 방사선에 피폭되지 않도록 규정하고 있으며, 우리나라도 마찬가지로 제한선량(방사선 작업 종사자 : 50 mSv/y, 일반인 5 mSv/y)을 설정하여 관리해 오고 있다.

이를 위해 대부분의 많은 병원들이 콘크리트를 이용하여 치료실 외부로 나오는 방사선량을 적정 수준까지 차폐하고 있다. 하지만 콘크리트를 이용하므로써 차폐벽 두께가 2.1 m 이상이 되어야 하므로 그래서 콘크리트를 대체하는 차

폐재(Ledite)를 이용 시공하는 병원이 늘고 있는 추세다. 이에 본 저자는 새로운 차폐재인 일명 Ledite를 이용하여 고에너지 광자선의 차폐효과를 콘크리트 및 납과 비교 평가하려 한다^{3,4)}.

II. 대상 및 방법

1. 실험 대상

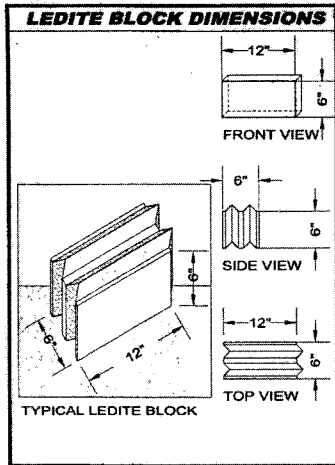
- Linear Accelerator(Clinac 2100C, Varian Associates Oncology System, USA)
- Dosimetry
 - Capintec 192, PR06C
 - IAEA Calibration Protocol
- Ledite(XN 288 & XN 240)

아직 국내에는 생소한 Ledite는 Atomic International(P.O.Box 270, Frederick, PA 19435, USA)가 제조한 콘크리트 및 납 등의 금속물질을 함유한 벽돌을 말한다(그림 1).

첫째, XN 240(TVT = 20.7 cm) : 둘째, XN 288(TVT = 17.7 cm)

위 벽돌들은 전세계적으로 널리 사용되는 것이며 본원에서는 240 모델을 2차벽에 288 모델을 1차벽에 사용하였다. 이 벽돌들은 두께가 각각 15.2 cm(6 inch)이다.

아울러 Steel(TVT = 10.5 cm) : 납(TVT = 5.5 cm) : Concrete(TVT = 39.6 cm)를 사용한다. 물



(a) Ledite의 구체적인 구조

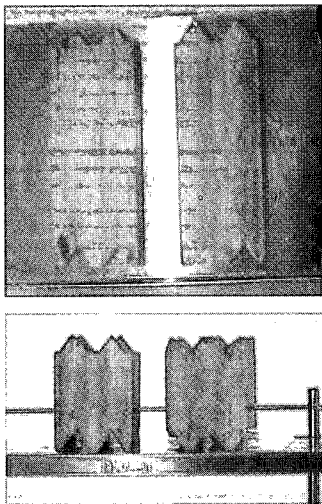


그림 1. 납벽돌의 구조와 크기

론, 모든 자료는 10 MV X선에 대한 것이며, TVT는 NCRP49에 나와 있다.

2. 실험 방법 및 차폐 계산

10 MV까지의 X선 발생장치를 위한 차폐두께는 부수적으로 발생하는 중성자의 차폐에도 충분하다고 간주하였다. 또한 Leakage X선에 충

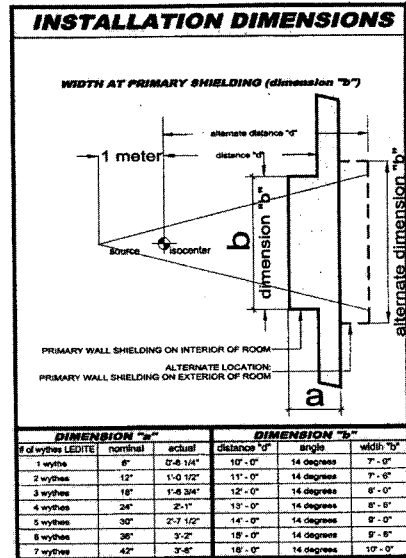
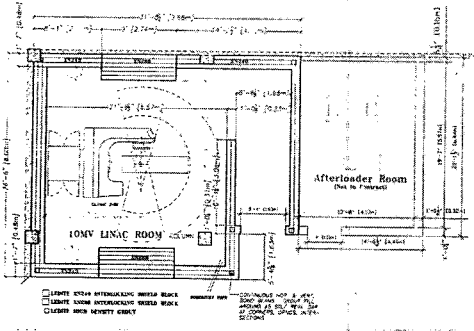


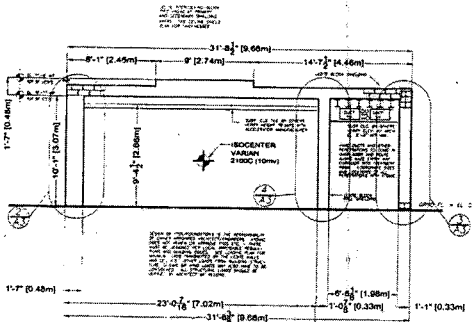
그림 2. 차폐계산을 위한 방사선 입사거리 산정

분한 차폐두께는 Scattered X선을 위한 차폐두께를 충족한다고 가정하였다. 뒷 가정들은 고에너지(MV) X선 발생장치를 위한 차폐두께를 결정하는데 통상 적용되는 것들이다^{5,6,7}. 그러므로 본 논문에서는 Primary(1차) X선과 Leakage Secondary(2차) X선을 방어하기에 적합한 차폐 계산 및 결과를 차폐방의 도면과 함께 보여준다 (그림 2, 3).

그림 3은 두 개의 서로 다른 방향에서 바라본 차폐방의 측면도이며, 이 도면들은 사용할 벽돌의 종류, 두께 및 총사용장수와 더불어 거리 d, 빔의 벽을 향한 입사각 등을 보여준다. 입사각을 고려하지 않아도(즉 수직으로 차폐벽에 입사한다 가정해도), 필요한 두께에 비하여 충분한 두께가 계획된 것임을 보여준다. 추후 실 예를 들어 계산과정을 보이겠다. Concrete를 그것과 Ledite의 TVT의 비율을 고려하여 Ledite 벽돌의 숫자로 보수적으로 환산한 것이다. 같은 방법으로 납(Lead) 및 철(Steel)의 두께를 Ledite의 장수로 환산한 것이다. 이때 기둥과 천장의 역할로 점유된 Concrete, 특정점의 차폐를 위한



(a) 상하 평면도



(b) 측면 평면도

그림 3. 방사선 시설의 평면도

여 설치된 Steel, 납판을 함유한 문 등은 그림에 나와 있다.

Use factor U를 간단히 설명해 보면, 표에 보인대로 1차 X선차폐에 관하여, 즉 측정점에 대하여, 발생장치의 입상 이용 특성상 각각 U = 1/4이다. 또한 각을 주고 X선을 발생시켜야 1차 X선이 측정되는 부분, 즉 측정점 치료실 외부의 주차장에 관하여 U = 1/16이다. 2차선 차폐에 관하여 Leakage는 항상 존재하므로, 그에 관한 모든 측정점에 대하여 U = 1이다.

Occupancy factor T를 설명해 보면, 그림 2, 3에 보인대로 벽(측정점이 창고내에 있다)에는 T = 1/4이고, 공조실에 대하여는 T = 1/8이다. 사무실영역에 대하여 T = 1이다. 그리고 차폐방위에 있는 지붕의 모든 점은 주행도로에 해당하므로 T = 1/16이다. 기타 점들에 대하여 T = 1

이다.

A. Primary X선을 방어하기 위한 차폐계산 본계산에 사용된 식은 다음과 같다.

$$p = \frac{WUT}{d^2} B \dots\dots\dots (1)$$

P(rem/week) = 최대 허용 선량

W(rem m²/week) = Work load

U = Use factor

T = Occupancy factor

B = Transmission factor, 방사선이 차폐벽을 투과한 정도, 율

d(m) = 선원으로부터 측정점까지의 거리. 측정점은 벽으로부터 약 30 cm를 기준으로 하였다.

TVT(cm) = Tenth value thickness, 빔의 선속을 1/10 감소시켜주는데 필요한 차폐체의 두께

이때 차폐벽의 투과율은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$B = \left(\frac{1}{10}\right)^{\left(\frac{t}{TVT}\right)} \text{ or } \exp^{-\frac{2.3}{TVT}t} \dots\dots\dots (2)$$

두 번째 식이 원칙적으로 바른 식이나 실제로 첫 번째 식이 사용될 수 있으며 이것이 t를 계산하는데 있어서 두 번째 식보다 보수적인 결과를 보인다. 본 계산에서는 첫 번째 식을 사용하였다. 이에 따라, 차폐벽의 두께는 다음과 같이 계산된다.

$$t = -TVTLOG\left(\frac{Pd^2}{WUT}\right) \dots\dots\dots (3)$$

다음의 예에서 일반적인 측정점과 특별한 고려가 필요한 부분을 대상으로 차폐벽 두께 계산을 수행하려 한다. 그러므로 다음의 예는 모든 측정점에 대하여 적용된 계산법을 보인다.

예] 그림 3a에 나타난 1차선 벽에 대하여 측

정된 방사선 준위가 10 mrem/주 미만인 되기 위하여 사용하여야 하는 Ledite벽들의 장수를 계산해 보자. 이때 $W = 50,000$; $U = 1/4$; $T = 1/4$; $P = 0.01$; $d = 5.501$; $TVT = 17.7$ cm.

· 그러면 식 (3)을 사용하여 $t = 71.05$ cm로 계산된다. 이것을 TVT의 숫자로 바꿔주면, 즉 t/TVT 은 4.01개가 얻어진다. 1개의 Ledite벽들이 약 15.2 cm이므로 71.05 cm의 차폐벽은 4.68장의 벽돌로 이루어진다.

· 빔 입사각은 도면에 나타난대로이며 1차 방사선차폐를 매우 보수적으로 수행하기 위하여 6장의 벽돌을 설치할 계획이다.

B. Secondary X선을 방어하기 위한 차폐계산
본 계산을 위한 식은 위 식(1)에다 α 를 곱하여 사용하면 된다. 이에 따라 t 는 다음과 같다.

$$t = - TVT \text{LOG} \left(\frac{Pd^2}{WUT} \right) \dots\dots\dots (4)$$

예] 관심되는 벽에 해당하는 Ledite벽들의 장수를 계산해보자. $\alpha = 0.001$; $W = 50,000$; $U = 1$; $T = 1/8$; $P = 0.01$; $d = 4.439$; $TVT = 20.7$ cm.

· 그러면 식 (4)에 의해 $t = 31.07$ cm로 계산된다. 이것은 1.5 TVL 및 Ledite벽들 2.05장과 같다.

· 설치될 3개의 Ledite벽들은 충분한 차폐효과를 줄 것이다.

같은 조건에서 거리가 다른 측정점에서는 똑같은 수식이 적용되며 빔 입사각을 고려하지 않아도 될 만큼의 벽돌 수가 설치될 계획이다.

· 그리고 남은 0.7장(10.6 cm)의 Ledite를 문에 내포된 납의 두께로 대체할 수 있는지 확인하자. 납과 Ledite의 TVT비, $5.5/20.7$ 을 10.6 cm에 곱하면 2.83 cm를 얻는다. 빔의 입사각을 고려하여 $2.83 \times \cos(60^\circ) = 1.41$ cm의 납이 필요하다. 실제로는 약 1.25 cm의 철판이 함유되어 있다. 즉 대략 1.6 cm 두께의 납이 있으므로 충분한 차폐효과를 얻을 수 있다.

III. 결 과

본 연구에서는 NCRP 49 및 ICRP 60의 권고안에 따라 설계 계산법을 산출하였고, 여기서 얻어진 값이 계산법을 이용하여 측정하였다. 이와 같은 측정방법에 의한 결과값은 다음과 같다 (표 1).

표 1. 차폐재질(LEDITE)의 μ 값 측정

Io	W/o		247.2
I	W	12.7	21.7
$\mu(TVT)$		0.1948 (11.82 cm)	0.1596 (14.42 cm)
LEDITE		XN288	XN240

a. 6 MV 광자선

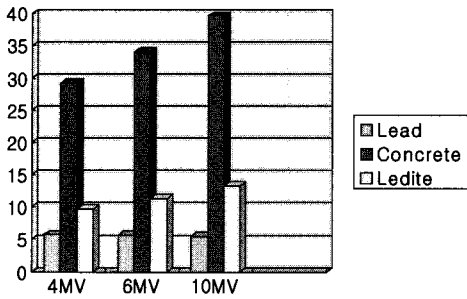
Io	W/o		211.2
I	W	15.4	25.3
$\mu(TVT)$		0.1718 (13.4 cm)	0.1392 (16.54 cm)
LEDITE		XN288	XN240

b. 10 MV 광자선

실제로 측정된 측정값과 비교하기 위해서 제4차사에서 제시한 XN288기준값은 6 MV에서 15.24 cm이고, 10 MV에서는 17.24 cm이다. 이러한 제시된 값과 측정된 값을 비교해 볼 때 약간의 오차가 있지만 거의 일치한다는 사실을 알 수 있다. 또한 측정된 값을 가지고 10 MV를 기준으로 Concrete 및 납의 TVT값을 서로 비교해볼 때 Concrete의 TVT값은 39.6 cm으로 Ledite의 TVT값 13.4 cm보다 3배 가까이 두껍고, Ledite의 기준 모델인 XN288을 가지고 각 에너지 별로 비교할 때 다음 표와 같다.

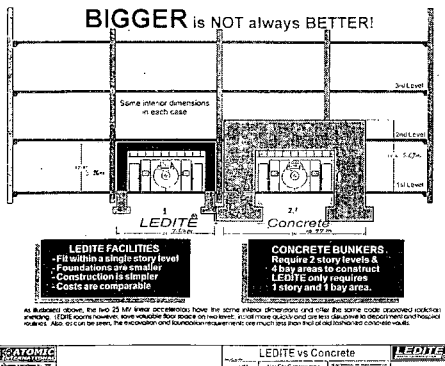
표 2에서 본 바와 같이 각각의 다른 에너지인 4 MV, 6 MV에서도 Concrete보다도 약 3배 가까이 두께를 줄일 수 있다는 것을 보여주고 있다.

표 2. 차폐재질의 TVT 비교(단위 : cm)

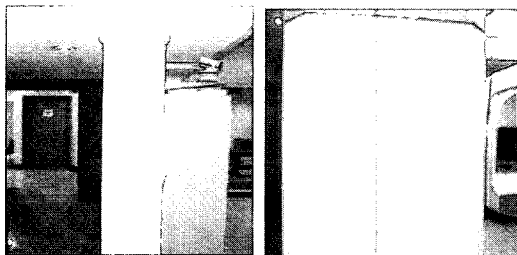


IV. 결 론

본 연구에서는 우리 나라에서 최초로 시공된 방사선의 차폐재인 Ledite의 실제의 TVT값을 구했



a. Ledite와 Concrete의 두께 비교 단면도



b. 실제의 Ledite와 Concrete의 비교

그림 4. 방사선 차폐 벽의 두께 차이

고, 그와 더불어 기존의 차폐재로 쓰여지고 있는 Concrete와의 비교를 통해서 Ledite사용의 효용성을 알아본 결과 3배에 가까운 작은 두께로서도 시공이 가능하다는 것을 알 수 있었다(그림 4).

이처럼 Ledite의 밀도가 높기 때문에 차폐벽으로부터 측정된 방사선 준위가 10 mrem/주미만이 되도록 하기 위해서 다른 차폐재질들보다 작은 두께로도 가능하다는걸 알 수 있었다.

본 연구와는 관계는 없지만 Ledite의 장점을 몇 가지 더 들어보면 보통 많이 쓰이는 차폐재인 Concrete보다 신속한 시공이 가능해졌다. 즉 Concrete는 시공이 여러 모로 복잡하고 굳히는 시간이 많이 필요하지만 Ledite는 벽돌식으로 이루어져 빠른 시간안에 시공이 가능하다. 그리고 Ledite는 곡면시공을 쉽게 할 수 있으므로 그동안 치료실의 미적인 감각을 살리고 싶어도 못살리는 부분을 어느 정도는 할 수 있게 되었다.

참 고 문 헌

1. 방사선 방어학회지 제12권 제1호 1987
2. 방사선 방어학회지 제19권 제1호 1994
3. NCRP, Structural shielding design and evaluation for medical use of X rays and gamma rays of energies up to 10MeV, Report No. 49, National Council of Radiation Protection and Measurement, 1976.
4. Benjamin R. Archer et al : Attenuation properties of diagnostic x-ray shielding materials: med. phys. 21, 1994 : 1499-1507
5. Glenn F. Knoll Radiation Detection and Measurement (2nd ed) 1989
6. Faiz.M. Khan The Physics of Radiation Therapy (2nd ed) 1994
7. Harold E.J., John R. Cunningham The Physics of Radiology 1983