

# 腔内治療室 遮蔽에 對한 考察

慶熙大學校 醫科大學 附屬病院 治療放射線科

尹錫錄 · 金明浩 · 申東五

## A Study on Structural Shielding Design of Afterloading Therapy Room

Suk Rok Yun, Myung Ho Kim, Dong Oh Shin.

*Dept. of Therapeutic Radiology, Kyung Hee University Hosp.*

### — Abstract —

In the case of designing a high dose rate remote controlled afterloading treatment room with existing hospital facilities. We must construct the effective protective barriers so as to reduce the primary and scattered radiation up to the maximum permissible dose level.

It is difficult to reinforce the barrier thickness of the shielding requirements because of the limited space and the problem of the existing building structure at the surrounding area.

Therefore we can reduce the intensity of primary radiation to the required degree at the location of interest with installing the appropriate I shaped Pb barriers between the radiation source and the shielding wall of the concrete.

As a result, it was possible to reduce the intensity of the primary radiation below the M.P.D level by using additional Pb barriers instead of increasing thickness of concrete wall.

### I. 序 論

腔内治療時 線源으로 부터 放出되는 放射線을 遮蔽하기 爲해 一定한 두께의 콘크리트 등의 遮蔽壁을 設置하여 最大許容線量 (Maximum Permissible Dose [M.P.D]) 을 超過하지 않도록 하는 것이 一般的인 慣例이다. 그러나 別途로 腔内治療室이 設置되어 있지 않은 既存病院의 境遇 새로운 腔内治療室을 設備하기 爲해서는 放射線 放出線量이 M.P.D 以下로 되게하는 安全性을 考慮하여 適當한 場所를 選擇하여야 한다. 그러나 既存建築物일때 適當한 場所가 없는 것이 普通이다. 따라서 既存 病院建物을 利用하여 放射線源과 콘크리트遮蔽壁 사이에 別途로

遮蔽構造物을 設置하면 1次放射線의 強度를 減衰시키므로 콘크리트 등의 遮蔽壁두께를 基準의 두께만큼 補強하지 않고도 M.P.D 以下로 減少시킬 수 있다는 可能性에 着眼하여 本病院에서는 放射線源을 包含한 患者周圍에 鉛으로 遮蔽構造物을 製作 設置하므로써 滿足할만한 結果를 얻었기에 報告한다.

### II. 本 論

#### 1. 遮蔽構造物의 設置方法

線源으로부터 任意의 各 地點에서 最大許容線量이 되도록 콘크리트壁 두께 (密度  $2.35g/cm^3$ ) 를 計算하여 腔内治療室의 面積과 構造 및 位置에 따라 幅이 넓은 곳에 設置될 遮蔽壁은 計算

된 두께대로 콘크리트벽만을 設置하였고, 幅이 좁은곳에 設置될 遮蔽壁은 좁은 空間을 考慮하여 콘크리트벽을 다소 얇게 하였다. 얇아진 콘크리트벽의 두께는 鉛 遮蔽 構造物로 補強하도록 設計하였다.

本 病院에 設置된 腔内治療機의 製作會社인 Buchler 社의 腔内治療室 標準圖面에서는 内部面積이 가로 4 m 세로 4.5 m이다. 그림 1에서 本 病院에 設備할 腔内治療室의 外部面積이 가로 6.5 m 세로 5.7 m이나 出入口쪽의 非常階段을 存積시킨 狀態에서 迷路 遮蔽壁을 設置하여야 하고 出入口 通路는 患者 運搬車가 容易하게 出入 할 수 있어야 하기 때문에 最小限 1.2 m 幅의 迷路가 必要하였다. 迷路와 迷路 遮蔽壁을 除外한, 實際로 使用 가능한 面積의 크기는 그림 2에서와 같이 가로 5.38 m 세로 3.3 m가 된다.

結果적으로 가로 길이는 길고 세로의 幅이 좁은 房이 된다. 이러한 短形의 房을 有效適切히 使用하기 爲해서는 다른 方法으로 遮蔽壁을 補強할 수 밖에 없었다.

특히 가장 脆弱地點인 天井의 境遇에는 18 cm

두께의 콘크리트 슬라브 뿐이고 建物の 構造上 콘크리트에 依한 補強이 困難하였다. 그러므로 調整室(Controll Room) 遮蔽壁은 必要한 두께의 콘크리트벽만을 設置하였고 天井을 비롯한 迷路 遮蔽壁과 맞은 使 遮蔽壁은 計算된 콘크리트 벽 두께보다 얇게 하였다. 얇아진 콘크리트벽 만 큼의 두께와 等價인 鉛두께 7)로 그림 3과 같이 線源을 包含하여 患者를 完全히 덮을 수 있도록 ㄷ字型의 터널식 11)으로 鉛 遮蔽 構造物을 製作 設置하였다.

그림 4에서는 調整室과 外壁을 除外한 天井이나 어느쪽 壁으로도 1次放射線이 直接 放射되지 않도록 鉛 遮蔽 構造物의 크기를 180×114×150 (cm)로 하였다.

純粹한 鉛의 무게만 2톤의 (重量에 網鐵로 된 支持台와 車輛 및 스테인레스스틸板을 包含한 2.5톤의) 荷重에서도 손쉽게 移動 할 수 있도록 그림 5에서처럼 바닥에는 小型의 레일을 깔았다. 鉛 遮蔽 構造物 下端에는 鐵로 된 車輪을 달았고 車輪과 손잡이 사이에 기어(Gear)를 附着하여 容易하게 前後로 移動하도록 하였다.

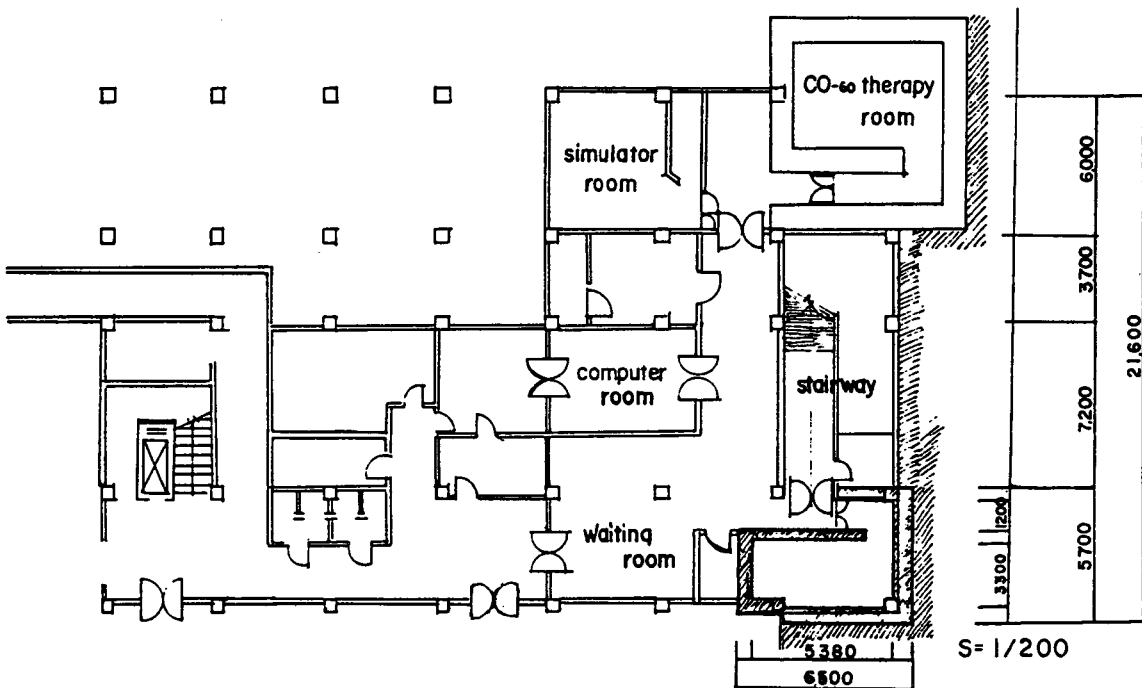


Fig. 1. Plan elevation of the Dept. of Therapeutic Radiology



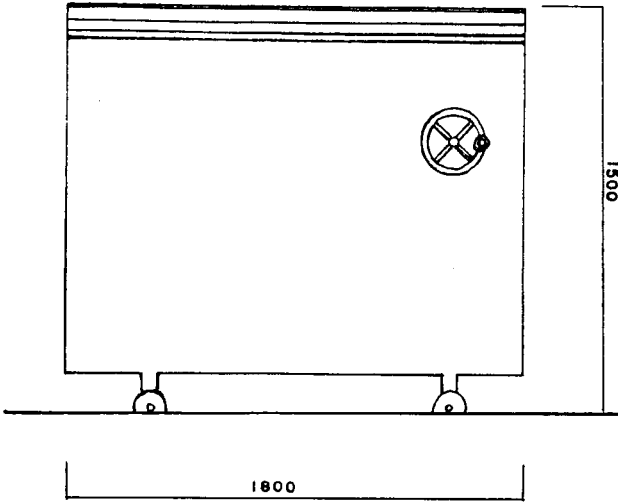
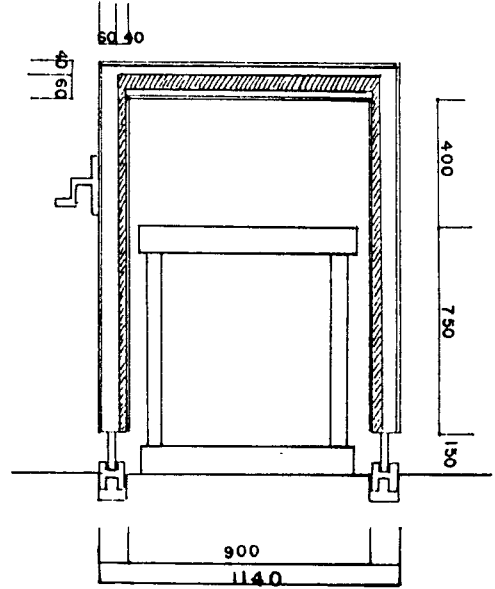


Fig. 5. Diagram of lead protective barrier.



## 2. 遮蔽壁 두께의 계산

콘크리트遮蔽壁 두께의 계산은 세시움-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) 線源 6 큐리 (Ci) 만을 사용했을 때의 콘크리트壁 두께와 코발트-60 ( $^{60}\text{Co}$ ) 線源 2 Ci 와  $^{137}\text{Cs}$  線源 4 Ci 를 혼합하여 사용했을 때의 콘크리트壁 두께를 계산하였다. 이 두 가지 경우를 선택하여 계산한 이유는 본腔内治療機가  $^{137}\text{Cs}$  線源 뿐만 아니라  $^{60}\text{Co}$  線源 및 이리다움-192 ( $^{192}\text{Ir}$ ) 等の放射線同位元素를 혼합하여 사용하도록 設計되어 있으므로 便宜에 따라 選擇의으로 사용할 수 있기 때문이다.

콘크리트壁 두께의 계산은 放射線으로부터 任意의 地點까지의 距離(d)에서 最大許容總量( $D_p$ ) 이 되는 콘크리트遮蔽壁 두께를 下記의 公式(1) (2)(4)(5)(6)을 利用하여 計算하였다.

$$D_p = \frac{W \cdot U \cdot T}{d^2} B \quad \dots\dots\dots (1)$$

- 이 式에서 W : 適當動作負荷量 (Workload)
- U : 使用係數 (Use factor)
- T : 占有係數 (Occupancy factor)
- B : 콘크리트의 放射線透過係數 (Transmission) 이다.

여기서 다른 係數들의 값은 알고 있으나 透過係數(B) 값은 未知數이므로 B 값을 計算하기 爲해 (1)式을 變形하면

$$B = \frac{D_p \cdot d^2}{W \cdot U \cdot T} \quad \dots\dots\dots (2)$$

된다.

上記 公式에서 適當最大許容線量<sup>5)</sup> ( $D_p$ ) 은 表1에서와 같이 統制區域内에서는 適當 100 미리렘 ( $m\text{ Rem/Week}$ ) 이고 非 統制區域内에서는 適當 10 미리렘<sup>1)5)</sup>이다.

W는 普通 外部照射 治療機인 境遇 患者 1人 當 하루照射線量 (daily dose) 에 1週日間 治療 可能한 總 患者數를 곱하여 얻어진 係數이다. 放射性同位元素를 利用한 腔内治療機 및 遠隔治療機는 放射能量 (Radio-activity) 에 그 放射能의 감마線 放射定數<sup>10)</sup>  $\Gamma$  ( $R/hr \cdot mCi^{-1}$  at 1 cm) 와 1週日間 照射되는 總時間을 곱하여 얻어진 값이다. 따라서 (2)式은

$$B = \frac{D_p \cdot d^2}{t \cdot A \Gamma \cdot U \cdot T} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式이 된다. 여기서  $W = t \cdot A \Gamma$  이고,  $\Gamma$  (Gamma

Table 1. Masimum permissible dose equivalent recommendation (MPD)

Type of Area	weekly dose	maximum calender quarter dose	maximum yearly dose	maximum accumulated dose
	REM	REM	REM	REM
Controlle Areas				
Whole body, gonads, red bone marrow, lens of eye	0.1	3	5	5(N-18)
skin of whole body	—	—	15	—
Hands	—	25	70	—
Forearms	—	10	30	—
Non-controlled Areas	0.01	—	0.5	—

factor)는  $^{137}\text{Cs}$  線源이  $3.3[\text{R/hr}\cdot\text{mCi}^{-1}\text{at } 1\text{cm}]$ 이다.  $\text{Co } ^{60}$  線源은  $13.0[\text{R/hr}\cdot\text{mCi}^{-1}\text{at } 1\text{cm}]$ 이다.

U 係數<sup>1)2)3)5)</sup>는 表 2 와 같으나 이 係數들은 外部照射 治療機일 때에 該當되는 係數이고 腔内 治療機는 線源이 腔内에 位置하여 모든 方向으로 放射線을 放出하기 때문에 이 경우에는 U 係數를 1 로 하였다.

Table 2. Typical use factor for primary protective barriers

Location	Use factor
Floor	1
Walls	1/4
Ceiling	1/4-1/2, depending on equipment and techniques

表 3 의 T 係數 (Occupancy factor) 는 NCR P Report<sup>5)</sup> 나 Hende<sup>4)</sup> 등에 依하면 全 占有 係數는 1 이고, 部分 占有 係數는 1/4 로 때때로 占有하는 係數는 1/16 로 하였으며 KAHN<sup>1)</sup> 의 경우에는 때때로 占有하는 T 係數를 1/8 ~ 1/16 로 하였다.

線源으로부터 大部分의 任意의 各 地點까지는 1 次放射線이 到達하는 地點들이다. 그림 2 에서와 같이 出入口 쪽은 1 次放射線이 直接 到達 하지 않고 線源으로부터  $\theta$  角度로 外壁으로 散亂될 때 入射角과 同一한 對稱方向으로 2 次線이 散亂되어 出入口에 影響을 미친다. 따라서 下記와 같은 2 次散亂線透過係數 公式(1)(4)(5)에 依하여 計算하였다.

Table 3. Typical occupancy factors

Full occupancy (T=1)	work areas, offices, nurses' stations, laboratories, wards, children's play areas, living quarters.
Partial occupancy (T=1/4)	corridors, rest rooms, elevators using operators, unattended parking lots.
Occasional occupancy (T=1/8-1/16)	waiting rooms, toilets, stairways, unattended elevators, outside areas used only for pedestrians or vehicular traffic.

$$D_p = \frac{\alpha \cdot W \cdot T}{d^2 \cdot d'^2} \cdot \frac{F}{A} B_s \dots\dots\dots (4)$$

여기서 d : 線源에서 散亂體까지 距離  
d' : 散亂體에서 壁에 부딪친 後 出入門에 到達한 2次線距離  
α : 散亂體로부터 1 m 距離에서 任意의 方向으로 θ角만큼 散亂된 入射放射線 比  
F : 散亂體에서의 放射線照射野  
A : α가 決定된 狀態에서의 散亂 照射野이다.

2次散亂線 透過係數(B<sub>s</sub>)를 求하기 爲해 (4) 式을 變形하면

$$B_s = \frac{D_p \cdot d^2 \cdot d'^2}{\alpha \cdot W \cdot T} \cdot \frac{A}{F} \dots\dots\dots (5)$$

이 된다. 여기서 α값은 無數히 많은 角度로 2次線이 散亂되기 때문에 많은 값이 存在하나 出入門쪽으로 가장 많은 散亂이 豫想되는, 4) 5) 90度로 散亂되는 境遇 <sup>137</sup>Cs 線源은 0, 0028 이고 <sup>60</sup>Co 線源이 0.0009이다. A와F의 照射野係數

는 外部照射 治療機일 때에만 該當되는 係數로서 腔内治療機에서는 1로 하였다.

上記의 諸 公式을 利用하여 計算한 結果 <sup>137</sup>Cs 線源 6 Ci를 使用하여 治療할 때 表4의 콘크리트 透過係數 값을 얻었다. 各 地點에 對한 B 값을 그림 6의 透過係數 그래프 5)7)에 의하여 콘크리트 遮蔽壁 두께를 求하였다. 出入門을 除外한 모든 地點은 1次放射線의 透過係數 그래프에 依하여 計算하였으나 出入門은 1次線이 90°의 角度로 壁에 부딪친 後 散亂되어 到達하기 때문에 그림 7의 散亂角에 따른 透過係數 그래프 5)7)에 의해 콘크리트壁 두께 및 等價의 鉛 두께를 求하였다.

<sup>137</sup>Cs 線源 4 Ci와 <sup>60</sup>Co 線源 2 Ci를 混合하여 使用하였을 때의 콘크리트 透過係數의 計算은 4 Ci의 <sup>137</sup>Cs 線源에 對한 γ線 放射定數 값에 2 Ci의 <sup>60</sup>Co 線源에 對한 γ線放射定數 값을 合하여 W값을 求한 後 (5式에 依하여 콘크리트 透過係數를 計算하여 그림 6의 透過係數 그래프에 依하여 콘크리트壁 두께를 求하였다. 이때에 適用한 그래프는 高 에너지쪽의 <sup>60</sup>Co 線源의 그래프를 利用하였다. 이 境遇에도

Table 4. Thickness of concrete wall calculated by transmission curve of Cs-137 source.

NO	Areas	Distance from source to interest (m)	Duration of stay (h/w)	Occupancy factor	Calculated transmission factor (B)	Thickness of concrete (cm)	Pb equivalent of concrete for Cs-137(Cm)
1	Control room	3.7	20	1	3.5x10 <sup>-3</sup>	44	5.3
2	Corridor(A)	2.6	10	1/4	1.4x10 <sup>-2</sup>	34	4.1
3	P.T room	3.2	20	1/4	1.03x10 <sup>-2</sup>	36	4.2
4	Entrance	6.3(0.15)	10	1/4	6.1x10 <sup>-1</sup>	4.2	0.07
5	Ceiling	2.7	10	1/4	1.5x10 <sup>-2</sup>	33	4.0
6	Outside	4.0	4	1/16	3.2x10 <sup>-1</sup>	10	1.1
7	Corridor(B)	5.7	20	1/4	3.3x10 <sup>-2</sup>	27	3.2
8	Waiting room	6.0	10	1/8	1.5x10 <sup>-1</sup>	16	1.9

\* 1. Used only radioisotope of Cs-137 6Ci.  
2. All area is noncontrolled area (M.P.D 0.01 R/Week).  
3. Entrance was calculated by equation of scatter ray.

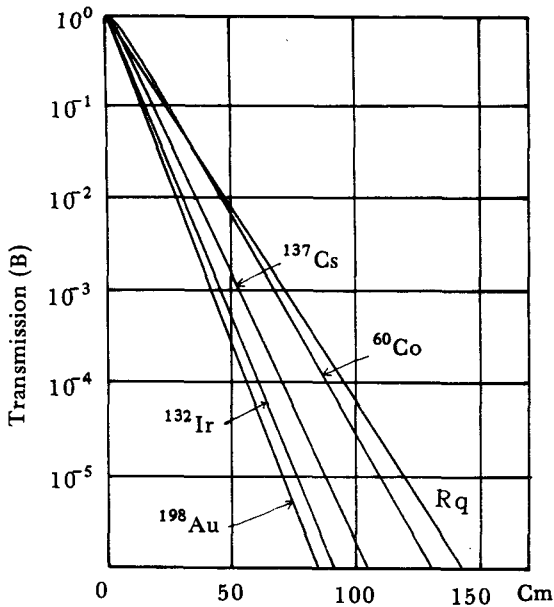
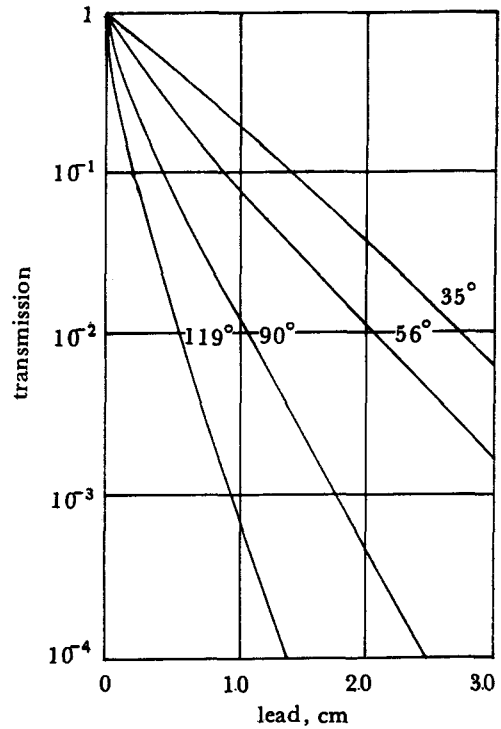


Fig. 6. Transmission through concrete, density  $2.35 \text{ g cm}^{-3}$ , gamma rays from selected radionuclides.



Broad-beam transmission of  $^{137}\text{Cs}$  gamma rays scattered at various angles from an oblique concrete wall through concrete, density  $2.35 \text{ g/cm}^3$ .

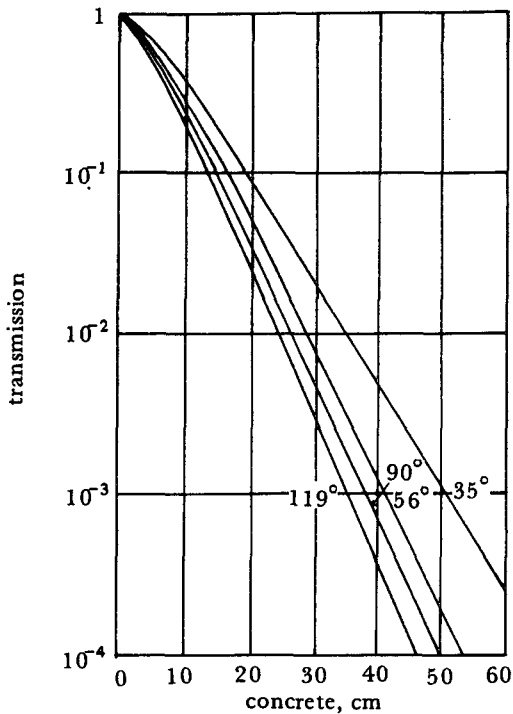


Fig. 7. Broad-beam transmission of  $^{137}\text{Cs}$  gamma rays scattered at various angles from an oblique concrete wall through lead, density  $11.35 \text{ g/cm}^3$ .

出入門은 그림 8의 散亂角에 따른 透過係數 그래프에 依하여 콘크리트벽 두께와 等價의 鉛 두께를 求하였다. 그 結果가 表 5와 같다.

天井과 迷路遮蔽壁 및 맞은 便 遮蔽壁을 除外하고 다른 모든 地點의 遮蔽壁은 計算된 두께대로 純粹한 콘크리트벽만을 設置하였으며 天井은 計算값 49 cm에서 슬라브두께 18 cm를 除外한 31 cm의 콘크리트벽 두께에 該當하는 鉛 두께를 그림 9의 콘크리트 透過係數와 等價의 鉛 透過係數 그래프에 依하여 5.3 cm 두께의 鉛으로 代置하였다.

迷路遮蔽壁과 맞은 便 遮蔽壁은 좁은 幅을 考慮하여 30 cm 두께의 콘크리트遮蔽壁을 設置하고 나머지 20 cm 두께의 콘크리트벽과 22 cm 두께의 콘크리트벽에 該當하는 두께는 等價인 3.4 cm와 3.7 cm의 鉛두께로 代置하였다. 여기서 實際의 鉛遮蔽構造物은 安全線量率 및 構造物 自體 重量의 平衡을 考慮하여 天井쪽은 6 cm 두께

의鉛으로, 左右壁 쪽은 各各 4 cm 두께의鉛으로 그림 10 과 같은鉛遮蔽構造物을製作設置하였다.

以上の成績에 依하여 콘크리트 遮蔽壁과鉛遮蔽構造物을設置한 後에 6 Ci 의  $^{137}\text{Cs}$ 線源을 tandem 에 2 Ci 左右 Ovoid 에 各各 2Ci

씩 挿入한 後에 放射線을照射하면서 各地點에對한 最大許容線量을測定한 結果 天井에서 時間當 0.15 ミリ렘 [  $m\text{Rem/hr}$  ] 이測定되었고 其他 地域에서는 모두 時間當 0.05 ミリ렘이測定되어 時間當 最大許容線量에는 未達되었다.

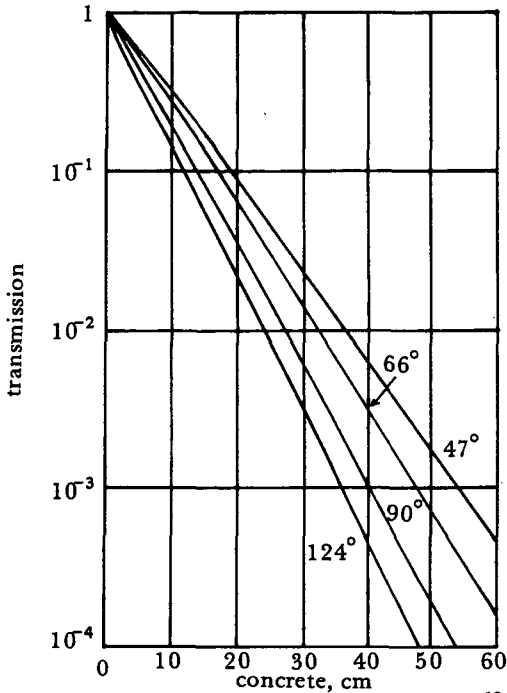
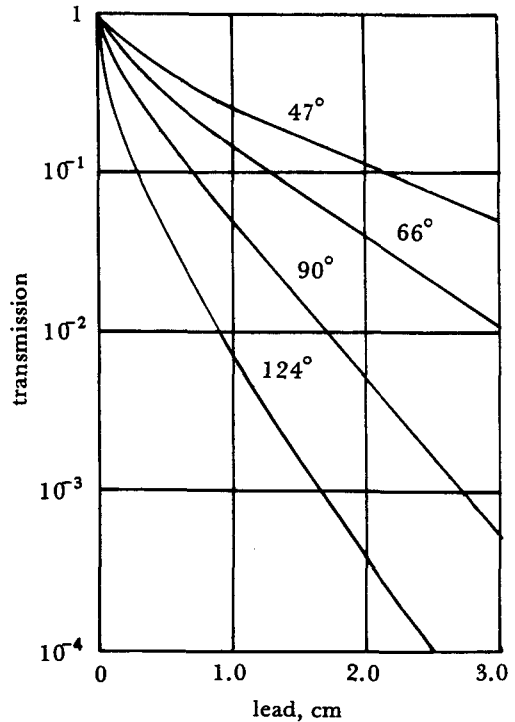


Fig. 8. Broad-beam transmission of  $^{60}\text{Co}$  gamma rays scattered at various angles from a patientsimulating phantom through concrete, density  $2.35\text{g/cm}^3$ .



Broad-beam transmission of  $^{60}\text{Co}$  gamma rays scattered at various angles from a patientsimulating phantom through lead, density  $11.35\text{g/cm}^3$ .

Table 5. Shielding wall and Pb construction barrier calculated by mean of Co-60 transmission curve used Cs-137 source and Co-60 source together

NO	Areas	Calculated transmission $4\text{Ci}(^{137}\text{Cs})+2\text{Ci}(^{60}\text{Co})$ (B)	Thickness of concrete (Cm)	Actual concrete shielding wall and Pb construction barrier	
				Con. thickness(cm)	Pb thickness(cm)
1	Control room	$1.8 \times 10^{-3}$	62	62	—
2	Corridor (A)	$6.9 \times 10^{-3}$	50	30	4.0 (3.4)
3	P·T Room	$5.2 \times 10^{-3}$	52	30	4.0 (3.7)
4	Entrance	$5.6 \times 10^{-1}$	5.0	—	0.5 (0.12)
5	Ceiling	$7.4 \times 10^{-3}$	49	18	6.0 (5.3)
6	Outside	$1.6 \times 10^{-1}$	20	20	—
7	Corridor (B)	$1.7 \times 10^{-2}$	42	62	4.0
8	Waiting room	$7.3 \times 10^{-2}$	28	62	—

\*Used radioisotopes are Cs-137 of 4 Ci and CO-60 of 2Ci



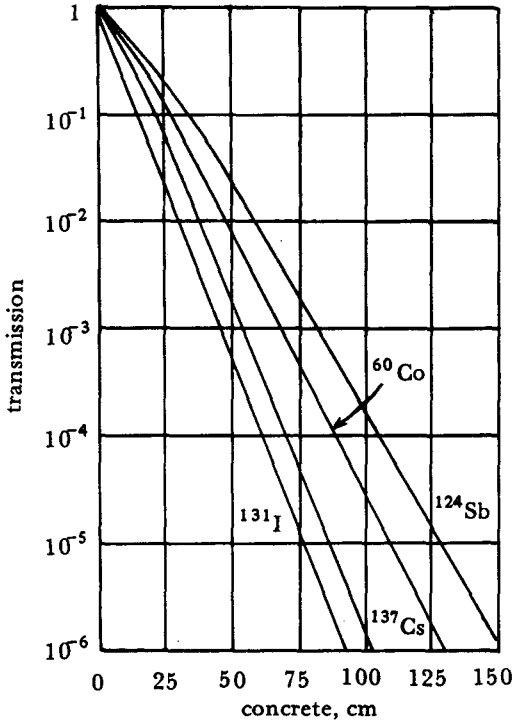
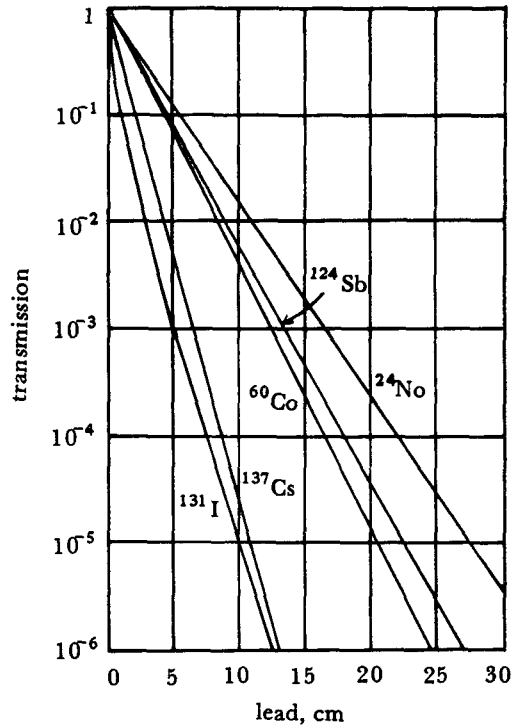


Fig. 9. Broad-beam transmission of gamma rays from various radionuclides through concrete, density 2.35 g/cm<sup>3</sup>.



Broad-beam transmission of gamma rays from various radionuclides through lead, density 11.35 g/cm<sup>3</sup>.

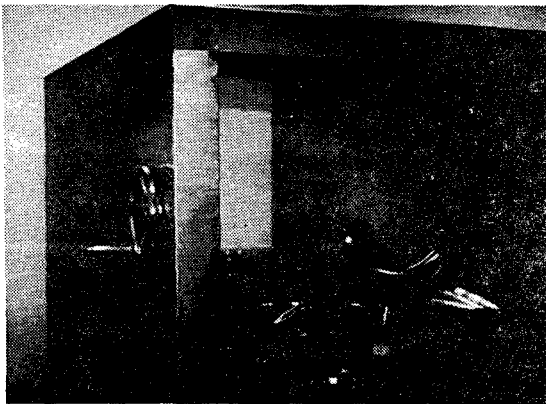


Fig.10.

### III. 結 論

既存 病院施設을 利用하여 腔内治療室을 設備 할 때 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1)線源과 콘크리트遮蔽壁 사이에 適正한 鉛遮蔽構造物을 設置하므로써 室外로 放射되는 線

量率을 M.P.D以下가 되도록 하는데 期得한 成果를 얻었다.

(2)制限된 空間과 場所를 最大로 活用할 수 있었다.

(3)鉛 遮蔽構造物의 製作設備로 因하여 土木工事に만 依存하는 것 보다 工期를 短縮 하였고 經費節減을 가져왔다.

### References

1. FAIZ M. KHAN: The Physics of Radiation Therapy. William & Wilking, Baltimore/London. 391-402, 1984
2. JOSEPH SELMAN: The Basic Physics of Radiation Therapy 2nd ed. Charles C Thomas Publisher 635-641, 1974
3. Harold Elford Johns: The Physics of Radiology 4th ed. John Robert Cunningham Charles C Thomas Publisher. 544-549, 1983

4. William R. Hendee: Radiation Therapy Physics, 2nd ed. Year Book Medical Publisher, Chicago, London, 167-182, 1979
5. NCRP Report No. 49: Structural shielding Design & Evaluation for Medical use of X-Ray &  $\gamma$ -Ray of Energies up to 10 MeV. National Council on Radiation Protection and Measurement 7910 Woodmont Avenue/ Washington, D.C 20014 49-105, 1976
6. Paul N. Goodwin Ph. D, Edith H. Quimby. Sc. D. Russell H. Morgan, M.D.: Physical Foundations of Radiology Fourth ed. Harper & Row Publishers 310-311, 1970
7. ICRP Publication #15, 21,: Radiation Protection. Protection against Ionizing Radiation from External Sources Published for the International Commission on Radiological Protection by Pergamon Press 128-139, 1978
8. 尾内能夫：放射線 基礎醫學Ⅲ  
株式會社 日本出版サーヒス 259-273, 1984
9. 重松康：密封 小線源治療  
篠原出版 64-69, 1980
10. 李漢榮：Radioisotope Hand Book 1979  
Atomic Research Institute, Office of Atomic Energy
11. 久田欣一，平木辰之助：最新放射線科學  
金原出版株式會社， 292, 1978