

# 放射線 遮蔽物質에서 發生하는 散亂線의 測定\*

高麗大學校 保健專門大學 放射線科

金 昌 均

## Abstract

### Some Measurements of Scattered Radiation from Various Radiation Shielding Materials

Chang Kyun Kim

*Dept. of Radiotechnology, Junior College of Public Health and Medical Technology, Korea University, Seoul, Korea*

Half value layer (radiation energy) of 90°scattered radiation from various radiation shielding materials was measured at 1 m distance from the central ray of the primary beam.

Scattered radiation was measured from 100 to 200 kVp for 0-2.0mm Cu+1.0mm Al added filter in the primary beam for a deep therapeutic unit, the obtained results were as follows:

1. The ratio of scattered radiation to primary radiation was increased by using lighter filter.
2. The ratio of scattered radiation to primary radiation was decreased by using heavier filter.
3. The ratio of scattered radiation to primary radiation was independent of tube voltage.
4. The scattered radiation of high energy was produced, when the effective atomic number and density of shielding material were high.

## 目 次

## I. 緒 論

### I. 緒 論

### II. 實驗材料 및 方法

### III. 實驗結果

### IV. 考 察

### V. 結 論

### 參考文獻

放射線을 防禦하여 그 障害로부터 벗어나기 爲한 方法에는 여러가지가 있으나 그 가운데에서 가장 重要한 方法은 放射線을 막는 遮蔽의 手段이라 할 수 있다  
勿論 放射線의 遮蔽에는 그 目的에 있어서 部分的 遮蔽 (local shielding) 와 構造의 遮蔽 (structural shielding) 로 大別할 수 있으며 어느것을 莫論하고 放

\* 本論文은 1981年度 高麗大學校 學術研究費로 이루어진 것임.

射線の種類와 그 에너지에 의하여 遮蔽에 利用되는 物質이 決定될 것이다.

특히 診療의 手段으로 使用되는 X線의 遮蔽에는 照射되는 部位의 크기와 그 에너지 등에 의하여 크게 左右되지만 이때 使用되는 附加濾過의 輕重에 따라서 X線의 線質自體가 甚하게 影響을 받고 있으므로 X線의 遮蔽가 他種의 放射線보다 어려운 問題가 여기에 있는 것이다. 그러나 X線의 遮蔽에는 現在까지 가장 많이 使用되고 있는 것으로서 鉛板과 시멘트製品인 콘크리트벽들과 一般의인 建築材인 벽들類가 있다<sup>1)</sup>

이와같은 物質들이 放射線의 遮蔽에 利用되더라도 이 遮蔽物質 自體에서 發生되는 散亂線은 輕視할 수 없는 障害의 한 要因으로 作用하게 되므로 遮蔽物質의 選定은 放射線의 吸收能力이 優先적으로 커야 하겠지만 散亂線의 發生이 可及의 적은 것을 考慮하여야 하는 것이 가장 바람직한 問題이다.

한편 同一에너지의 一次線에 對하여 같은 程度의 遮蔽能力을 가진 物質이라 해도 에너지의 變化에 따라서 그리고 附加濾過量의 輕重에 의하여 같은 遮蔽物質에서 發生되는 散亂線의 樣相은 크게 差異가 나고 있다<sup>2,3)</sup>

이와같이 遮蔽物質에서 發生되는 散亂線은 放射線區域內의 作業從事者는 勿論이고 被檢者에 對한 放射線被曝의 增加를 招來하게 된다. Schulz<sup>4)</sup>는 散亂線의 強度가 一次線의 強度에 比하여 約0.1%程度라고 하였고 Waggner<sup>5)</sup>는 管電壓이 上乘함에 따라 一次線에 對한 散亂線의 強度比는 漸次 커진다고 報告하였다. 또한 散亂線의 에너지(半價層)가 一次線의 에너지와 거의 같다는 說<sup>4)</sup>과 一定한 에너지(125 kVp)까지는 散亂線의 에너지가 一次線의 에너지 보다 크다고 報告된 적도 있다<sup>6)</sup> 이런 點을 考慮할때 放射線의 遮蔽物質의 選擇은 더욱 더 重要하기 때문에 著者는 現在 遮蔽物質로서 많이 使用되고 있는 몇가지 物質에 對하여 一次線과 散亂線의 에너지比를 使用濾過量에 따라서 各各의 管電壓別로 測定을 試圖하였다.

## II. 實驗材料 및 方法

### 1. 測定器 및 材料

#### 1) 放射線測定器

Victoreen Ionization Chamber Model 553

과 Model 131, 그리고 Philips Ionization

Chamber Model XL 1000/10을 使用하였다.

#### 2) X線發生裝置

General Electric 深部治療 X線裝置 (最高管電壓: 250 KV, 最高管電流: 20 mA)

### 3) 遮蔽材料

構造的인 放射線遮蔽物質로 흔히 使用되고 있는 시멘트벽돌, 耐火赤벽돌, 耐火黑벽돌 그리고 鉛板을 對象으로 하였고 이들은 市中에서 販賣되고 있는것을 購入하였으며 이들의 平均密度는 表1과 같다.

Table 1. Average Density of Shielding Material

Shielding Material	Average Density
Cement brick	1.87
Fire brick - red color	1.96
Fire brick - black color	1.75
Lead plate	11.24

### 2. 測定方法

一次線의 에너지(半價層)를 測定하기 爲하여 그림 1

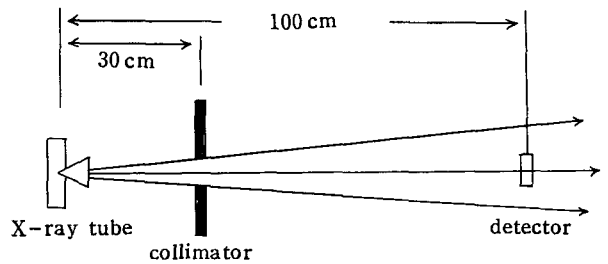


Fig. 1. Detection Method of Primary Radiation

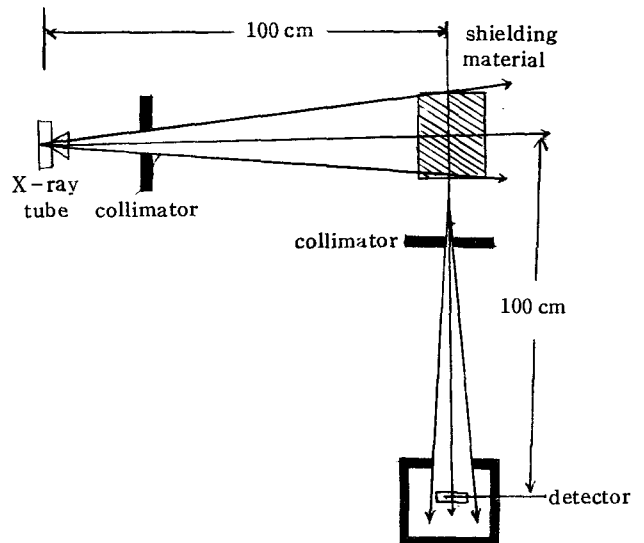


Fig. 2. Detection Method of Scattered Radiation

과 같이 하였다. 即 X線管으로부터 檢出器까지의 距離를 100 cm로 하였고 照射野는 10 cm × 10 cm로 하였으며 半價層을 求하기 爲한 吸收體는 X線管으로부터 30 cm 되는곳에 附着하였다. 또한 散亂線을 測定하기 爲한 構成은 그림 2와 같이 하였다. 即 X線管으로부터 100 cm 되는곳에 遮蔽物質을 두고 照射方向으로부터 90°되는 方向으로 100 cm 되는 位置에서 散亂線을 測定하였고 吸收體의 位置는 遮蔽物質로부터 30 cm 되는 곳에 두었다.

한편 一次線과 各各의 遮蔽物質에서 發生하는 散亂線의 에너지를 管電壓 100 kVp, 125 kVp, 150 kVp, 175 kVp 그리고 200 kVp에서 모두 測定하였으며 여기에 使用된 各各의 測定器는 Radium을 利用하여 較正하였다.<sup>7,8,9)</sup>

### Ⅲ. 實驗結果

#### 1. 一次線의 半價層

各各의 管電壓에서 發生하는 X線의 에너지를 附加濾過量에 依하여 半價層을 銅(mmCu)으로 測定한 結果는 表 2와 같다.

Table 2. Half-value layer of Primary-radiation

(unit: mmCu)

kVp	100	125	150	175	200
Added filter					
none	0.16	0.21	0.25	0.28	0.33
2.0 mm Al	0.19	0.29	0.33	0.38	0.43
0.5 mm Cu+1.0 mm Al	0.54	0.79	0.85	0.98	1.07
1.0 mm Cu+1.0 mm Al	1.28	1.50	1.66	1.79	2.13
2.0 mm Cu+1.0 mm Al	0.85	1.08	2.12	2.36	2.44
range	0.16 ~ 1.28	0.21 ~ 1.50	0.25 ~ 2.12	0.28 ~ 2.36	0.33 ~ 2.44
(mean ± SD)	(0.60 ± 0.42)	(0.77 ± 0.48)	(1.04 ± 0.74)	(1.16 ± 0.81)	(1.28 ± 0.86)

即 100 kVp의 管電壓에서도 使用되는 附加濾過의 輕重에 依하여 半價層은 0.16 mm Cu ~ 1.28 mm Cu로 나타났고, 125 kVp에서는 0.21 mm Cu ~ 1.50 mm Cu, 150 kVp에서는 0.25 mm Cu ~ 2.12 mm Cu, 175 kVp에서는 0.28 mm Cu ~ 2.36 mm Cu, 그리고 200 kVp에서는 0.33 mm Cu ~ 2.44 mm Cu로 各各 나타났다.

#### 2. 遮蔽物質別 半價層의 比(HVLs/HVLp)

各各의 管電壓下에서 各 遮蔽物質들을 附加濾過量에 依하여 測定한 半價層의 比(一次線의 半價層에 對한 散亂線의 半價層)는 表 3, 4, 5, 6, 7 그리고 그림 3, 4, 5, 6, 7과 같다.

即 散亂線과 一次線의 半價層比를 보면 管電壓 100 kVp에서는 耐火赤벽돌이 1.65 ± 0.79, 耐火黑벽돌은 1.83 ± 1.02, 시멘트벽돌은 1.42 ± 0.76, 그리고 鉛板은 3.92 ± 1.93으로 나타났고 管電壓 125 kVp에서는 耐火赤벽돌이 1.77 ± 0.73, 耐火黑벽돌은 1.99 ± 1.01, 시멘트벽돌은 1.74 ± 0.75 그리고 鉛板은 4.70 ± 2.42 이었다.

管電壓 150 kVp에서는 耐火赤벽돌이 2.01 ± 1.13

Table 3. Ratio of HVL of Scattered-ray to HVL of Primary-ray at 100 kVp

Shielding Material	Fire brick - red color	Fire brick - black color	Cement brick	Lead plate
Added filter				
none	2.72	3.21	2.42	6.63
2.0 mm Al	2.41	2.89	2.26	5.75
0.5 mm Cu+1.0 mm Al	1.41	1.33	1.04	3.04
1.0 mm Cu+1.0 mm Al	0.64	0.73	0.60	1.63
2.0 mm Cu+1.0 mm Al	1.08	0.99	0.80	2.56
range	0.64 ~ 2.72	0.73 ~ 3.21	0.60 ~ 2.42	1.63 ~ 6.63
(mean ± SD)	(1.65 ± 0.79)	(1.83 ± 1.02)	(1.42 ± 0.76)	(3.92 ± 1.93)

Table 4. Ratio of HVL of Scattered-ray to HVL of Primary-ray at 125kVp

Shielding Material Added filter	Fire brick - red color	Fire brick - black color	Cement brick	Lead plate
none	2.86	3.52	2.76	7.62
2.0 mm Al	2.28	2.83	2.48	7.17
0.5 mm Cu+1.0 mm Al	1.62	1.41	1.33	3.69
1.0 mm Cu+1.0 mm Al	0.76	0.87	0.85	2.07
2.0 mm Cu+1.0 mm Al	1.33	1.32	1.26	2.96
range	0.76 ~ 2.86	0.87 ~ 3.52	0.85 ~ 2.76	2.07 ~ 7.62
(mean ± SD)	(1.77 ± 0.73)	(1.99 ± 1.01)	(1.74 ± 0.75)	(4.70 ± 2.42)

Table 5. Ratio of HVL of Scattered-ray to HVL of Primary-ray at 150 kVp

Shielding Material Added filter	Fire brick - red color	Fire brick - black color	Cement brick	Lead plate
none	3.04	3.32	3.20	8.56
2.0 mm Al	2.61	2.91	2.79	8.12
0.5 mm Cu+1.0 mm Al	1.67	1.41	1.51	4.19
1.0 mm Cu+1.0 mm Al	0.84	0.89	0.89	2.47
2.0 mm Cu+1.0 mm Al	0.87	0.85	0.87	2.08
range	0.84 ~ 3.04	0.85 ~ 3.32	0.89 ~ 3.20	2.08 ~ 8.56
(mean ± SD)	(2.01 ± 1.13)	(1.87 ± 1.04)	(1.85 ± 0.97)	(5.08 ± 2.76)

Table 6. Ratio of HVL of Scattered-ray to HVL of Primary-ray at 175 kVp

Shielding Material Added filter	Fire brick red color	Fire brick - black color	Cement brick	Lead plate
none	3.01	3.46	3.21	8.36
2.0 mm Al	2.42	2.89	2.89	7.95
0.5 mm Cu+1.0 mm Al	1.55	1.56	1.60	4.01
1.0 mm Cu+1.0 mm Al	1.05	0.98	1.07	2.80
2.0 mm Cu+1.0 mm Al	0.90	0.97	0.97	2.34
range	0.90 ~ 3.01	0.97 ~ 3.46	0.97 ~ 3.21	2.34 ~ 8.36
(mean ± SD)	(1.79 ± 0.81)	(1.97 ± 1.02)	(1.95 ± 0.93)	5.09 ± 2.56)

Table 7. Ratio of HVL of Scattered-ray to HVL of Primary-ray at 200 kVp

Shielding Material Added filter	Fire brick - red color	Fire brick - black color	Coment brick	Lead plate
none	2.85	3.41	3.04	7.47
2.0 mm Al	2.49	2.93	2.88	7.16
0.5 mm Cu+1.0 mm Al	1.43	1.53	1.61	3.83
1.0 mm Cu+1.0 mm Al	1.07	1.12	1.02	2.63
2.0 mm Cu+1.0 mm Al	1.01	1.08	0.86	2.48
range	1.01 ~ 2.85	1.08 ~ 3.41	0.86 ~ 3.04	2.48 ~ 7.47
(mean ± SD)	(1.77 ± 0.76)	(2.01 ± 0.97)	(1.88 ± 0.92)	(4.71 ~ 2.18)

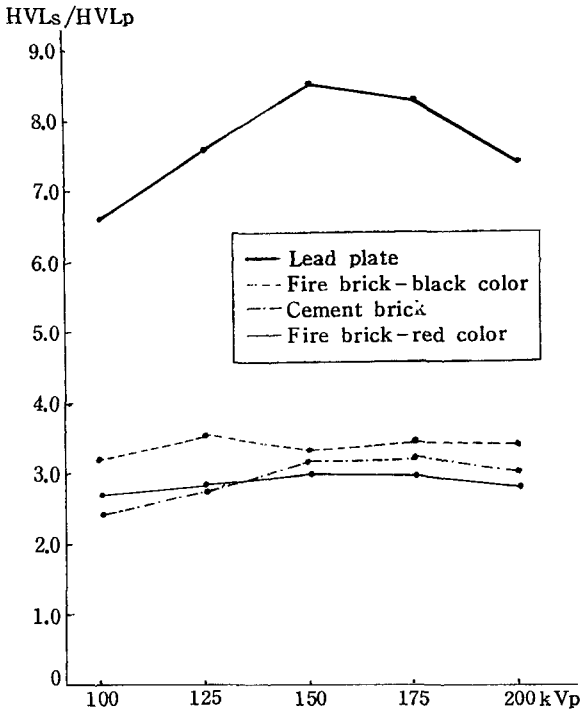


Fig. 3. Ratio of HVL of Scattered-ray to HVL of Primary-ray by Shielding Material in None added filter

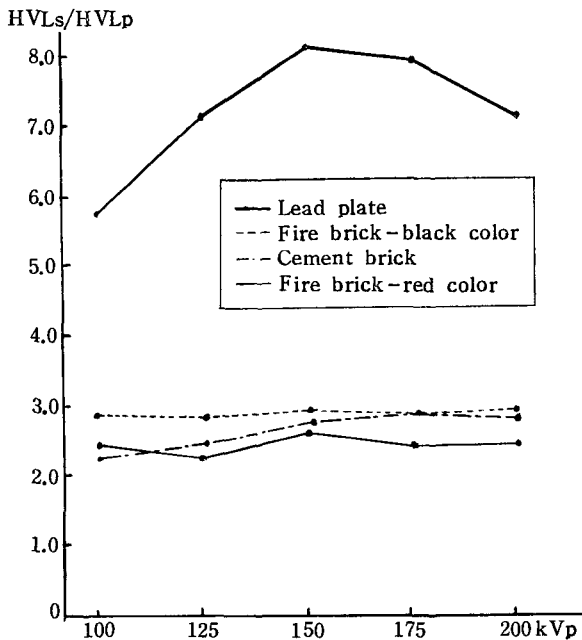


Fig. 4. Ratio of HVL of Scattered-ray to HVL of Primary-ray by Shielding Material in 2.0 mm Al added filter.

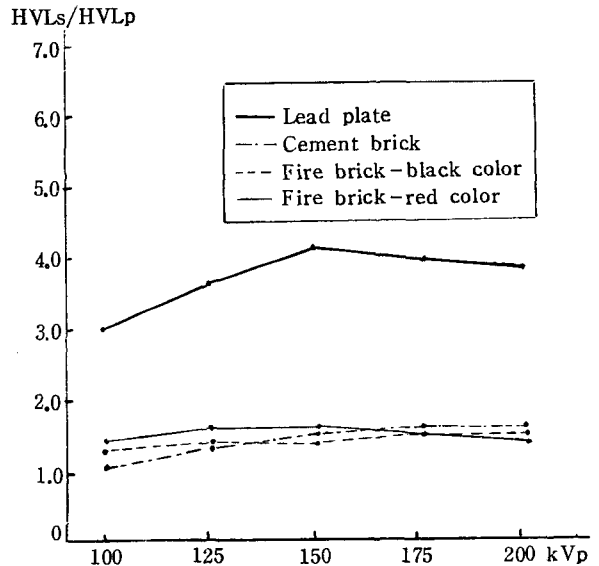


Fig. 5. Ratio of HVL of Scattered-ray to HVL of Primary-ray by Shielding Material in 0.5 mm Cu+1.0mm Al added filter

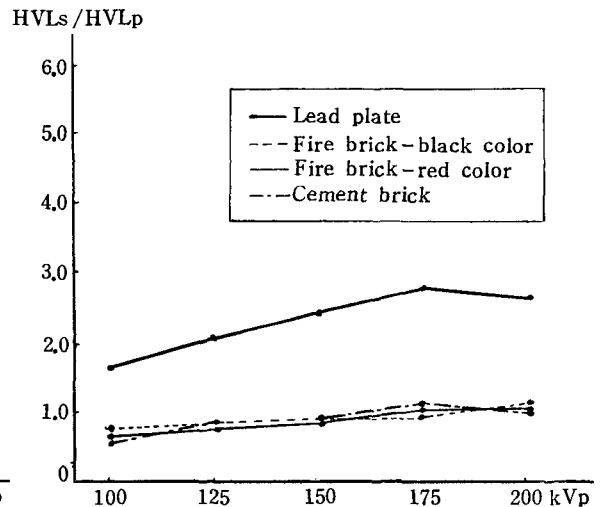


Fig. 6. Ratio of HVL of Scattered-ray to HVL of Primary-ray by Shielding Material in 1.0 mm Cu+1.0 mm Al added filter

耐火黑벽돌은  $1.87 \pm 1.04$ , 시멘트벽돌은  $1.85 \pm 0.97$ , 그리고 납板은  $5.08 \pm 2.76$  이였으며 管電壓 175 kVp 와 200 kVp 에서는 耐火赤벽돌이 각각  $1.97 \pm 0.81$ ,  $1.77 \pm 0.76$ , 耐火벽돌은  $1.97 \pm 1.02$ ,  $2.01 \pm 0.97$ , 시멘트벽돌은  $1.95 \pm 0.93$ ,  $1.88 \pm 0.92$ , 그리고 납板은  $5.09 \pm 2.56$  과  $4.71 \pm 2.18$  로 각각 나타났다

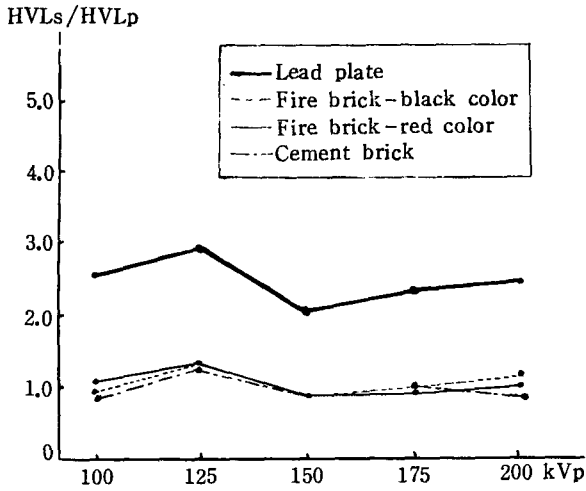


Fig. 7. Ratio of HVL of Scattered-ray to HVL of Primary-ray by Shielding Material in 2.0 mm Cu+1.0 mm Al added filter

### 3. 附加濾過量에 의한 半價層의 比

同一한 遮蔽物質에서 發生한 散亂線을 附加濾過量에 依하여 各各의 管電壓別로 測定하여 一次線의 半價層과 比較한 값은 그림 8, 9, 10, 11 과 같다

모든 遮蔽物質과 모든 管電壓에서 使用되는 附加濾過量이 작으면 작을수록 兩값의 比는 크게 되고 反對로 重濾過를 할수록 兩값의 比는 작아지고 있다

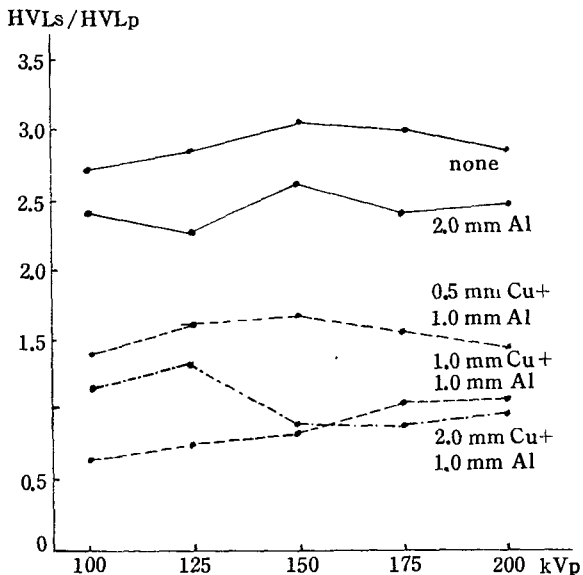


Fig. 8. Ratio of HVL of Scattered-ray to HVL of Primary-ray by Added filter in Fire brick-red color

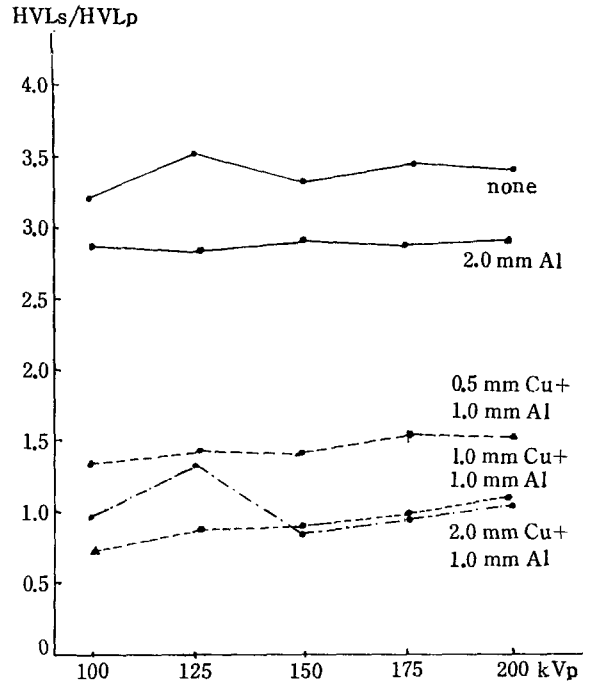


Fig. 9. Ratio of HVL of Scattered-ray to HVL of Primary-ray by Added filter in Fire brick-black color

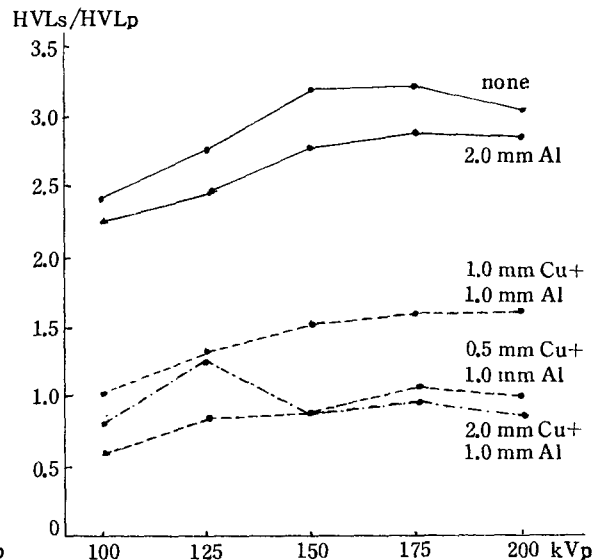


Fig. 10. Ratio of HVL of Scattered-ray to HVL of Primary-ray by Added filter in Cement brick

HVLs/HVLp

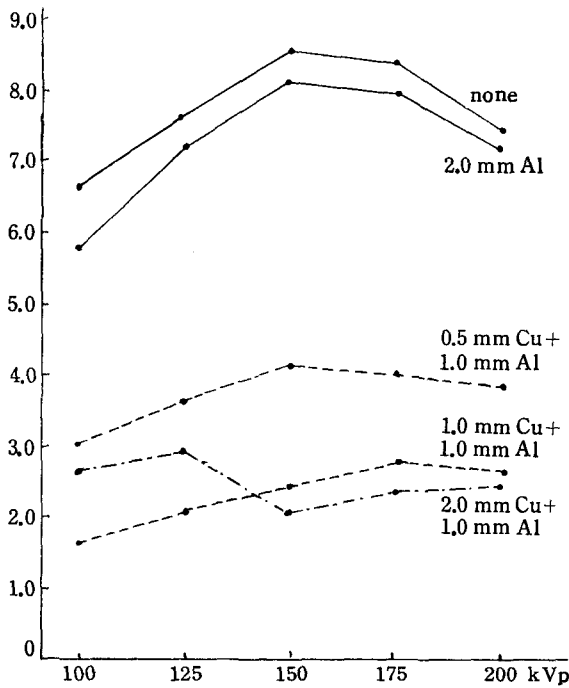


Fig. 11. Ratio of HVL of Scattered-ray to HVL of Primary-ray by Added filter in Lead plate

#### IV. 考 察

X線의 에너지를 表示하는데 있어서 가장 많이 使用하며 便利한 單位로서 半價層이 있다. 그러나 이 半價層은 同一한 管電壓이라 하여도 X線管 自體의 固有濾過의 程度와 狀態에 따라서 크게 差異가 생기며 特別히 附加濾過量의 輕重에 依해서 甚한 影響을 받고 있다. 그러므로 附加濾過量을 表示하지 않은 管電壓의 半價層 表示는 많은 誤解를 招來하게 될 素地가 되므로 그 意味를 充分히 발휘할 수가 없다.

本實驗에서 본 바와 같이 固有濾過를 無視하고서 附加濾過를 하지 않는 條件으로부터 比較的 重濾過라 할 수 있는 2.0mm Cu + 1.0mm Al 까지 濾過한 境遇에 얻은 半價層은 表 2에 나타난 바와 같으며 이 結果는 이미 報告된 Sander 等<sup>10)</sup>의 數値와도 一致하고 있다.

한편 附加濾過量의 增加에 따라 一次線의 에너지가 增加함과 同時에 散亂線의 에너지도 따라서 增加되고 있으나 一次線의 增加率에 比하여 鈍한 增加率을 나타내고 있음은 Christensen<sup>11)</sup> 등의 成績과도 같은 傾

向을 띄고 있다. 同一한 附加濾過量과 同一한 管電壓 下에서 一次線의 半價層에 對한 散亂線의 半價層 比를 보면 벽들類들 사이의 比는 큰 差異를 보이지 않고 있으나 이들과 鉛板과의 比較를 할 때 아주 甚한 差異를 보이고 있다. 이런 現象은 壁들類들과 鉛板과의 差異點을 物理的 差異點으로 볼 때 密度의 差異와 有效原子 番號의 大小로서 크게 分類할 수 있다. X線과 物質과의 相互作用은 이와 같은 原子番號와 密度에 依하여 發生하므로 兩者들 사이의 比가 크게 됨은 當然하다고 보겠다.

한편 一般벽들類들의 密度範圍는 1.6~2.5<sup>12)</sup>로 알려져 있고 시멘트벽들은 地域과 製造方法에 따라 密度 등의 性質이 다르게 될 것이다. 그러나 Christensen<sup>13)</sup>은 시멘트벽들의 構成이 Ca : 24%, Si : 16%, C : 7%, O : 52%, H : 1%로 되어 있다고 報告하였으며 有效原子 番號는 13.8이라고 主張하였다.

그러나 最近에는 混合物質의 有效原子 番號를 左右하는 가장 큰 要因인 指數가 現在까지 使用되어왔던 2.94보다 큰 3.4~3.8이라는 主張이 있으므로<sup>14, 15, 16)</sup>이렇게 될 때 시멘트벽들의 有效原子 番號는 가장 높게는 14.5까지 될 수도 있으나 壁들類와 鉛板과는 密度와 有效原子 番號가 워낙 큰 差異가 나기 때문에 낮은 管電壓에서 더 큰 差異가 發生함은 妥當하다고 思料된다. 한편 本實驗에 나타난 數値는 Strickert<sup>6)</sup> 등이 人體等價 物質을 利用하여 얻은 半價層과 多少 差異를 나타내고 있으나 物質自體의 構成要素에 依한 結果라고 볼 수 있을 것이다. 또한 本實驗에서 使用한 管電壓 程度에서는 附加濾過를 하지 않는 境遇가 없기 때문에 이러한點을 생각할 때 實際의 平均値는 이 結果에 나타난 것 보다 낮을 것이다.

한편 同一物質에서 同一한 附加濾過를 한 境遇의 半價層比較는 重濾過가 될수록 거의 비슷한 數値를 나타낼 수 있으므로 100 kVp 이상의 모든 管電壓에서는 最小한 2.0mm Al 以上の 附加濾過를 必히 하여야 될 것으로 생각된다.

Waggner<sup>5)</sup>에 依하면 一次線에 對한 散亂線의 強度比가 100 kVp에서는 2.87%, 그리고 110 kVp에서는 2.99%로 管電壓이 增加할수록 強度比는 漸次 커짐을 考慮할 때 高管電壓에서의 散亂線發生은 輕視할 수 없는 重要한 問題가 아닐 수 없다.

그러므로 放射線의 遮蔽物質을 選定하는데에는 이와 같은 點을 充分히 考慮하여야 함은 勿論 適切한 附加濾過를 하여 散亂線發生에 對한 障害를 極少化해야 될 것으로 思料되는 바이다.

## V. 結 論

放射線遮蔽物質에서 發生되는 散亂線의 에너지를 一次線의 에너지와 比較 檢討한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다

1. 一次線에 對한 散亂線의 에너지 比는 附加濾過量이 적을수록 커진다
2. 一次線에 對한 散亂線의 에너지 比는 附加濾過量이 클수록 작아진다
3. 一次線에 對한 散亂線의 에너지 比는 管電壓에 는 別로 影響을 받지 않는다
4. 遮蔽物質의 有効原子番號와 密度가 클수록 큰 에너지의 散亂線을 發生한다

## 參 考 文 獻

1. NCRP 76; Structural Shielding Design and Evaluation for Medical Use of X-Rays and Gamma Rays of Energies up to 10 MeV, NCRP Rep. 49, 1976.
2. 金昌均, 許俊; 放射線遮蔽物質에 對한 散亂線發生에 관한 研究, 韓國放射線技術研究會誌, 3, 67, 1980.
3. 金昌均, 許俊; 放射線遮蔽物質에서 附加濾過가 散亂發生에 미치는 影響의 研究, 醫學技術論集, 11, 35, 1980.
4. R. J. Schulz; Primer of Radiation Protection, p. 27, GAF Corporation, X-Ray Products, New York, 1969.
5. R. G. Waggener, L. B. Levy and Peter Zanca; Spectra of Scattered Diagnostic X-rays From an Alderson Phantom, Health Physics, 24, 59, 1973.
6. Trond Strickert and Halvor Fosmark; Some Measurements of Scattered Radiation from an Alderson Phantom for X-Ray Beams from 50 to 200 kvp, Health Physics, 28, 209, 1975.
7. Marilyn E. Noz and Gerald Q. Maguire; Radiation Protection in the Radiologic and Health Sciences, Lea & Febiger, 140, 1979.
8. William J. Price; Nuclear Radiation Detection, McGraw-Hill, 97, 1964.
9. 環境放射能 測定法, 원자력청, 6, 1972.
10. Aaron P. Sander, C. W. Chin, K. W. Sharpe, Robert J. Reeves and George J. Baylin; Right-Angle Scatter for X-Ray Beams of 0.14 mm to 2.5 mm Copper h. v. l., Radiology, 75, 595, 1960.
11. Ralph C. Christensen and Joseph A. Sayeg; Attenuation Characteristics of Gypsum Wallboard, Health Physics, 36, 595, 1979.
12. NBS Handbook 76; Medical X-ray Protection up to Three Million Volts, 1961 (Superintendent of Documents, U. S. Government Printing Office, Washington 25, D. C.).
13. Ralph C. Christensen; Shielding Calculations below 100 kvp in Concrete-Equivalent Materials, Health Physics, 36, 69, 1979.
14. D. R. White; An Analysis of the Z-Dependence of Photon and Electron Interactions, Phys. Med. Biol., 22, 219, 1977.
15. D. E. A. Jones; The Calculation of Effective Atomic Number,  $\bar{Z}$ , Br. J. Radiol., 52, 330, 1979.
16. Tor Wøhni; Broad Beam Attenuation in Leuca for 50-140 kvp X-Rays, Health Physics, 40, 205, 1981.