

진단 영역의 X-선 에너지에서 각종 건축재료의 감약율 측정실험

고려대학교 보건대학 방사선과 · 고려대학교의료원 구로병원 방사선과*

김정민 · 정회원*

-Abstract-

A Experimental Study on Attenuation Rate of Construction Materials in the Diagnostic X-ray Energy

Kim Jung Min · Jung Hoi Won*

Korea University, Health Science College · Korea University, Kuro Hospital*

Single phase, narrow beam X-ray attenuation data were obtained using various construction materials concrete, white block, red block, 3 hole block, gypsum board, artificial marble, cement, plate glass, wood, and lead.

Tube voltages of 60, 80, 100, 120 kVp were employed and the resulting curves were compared to transmission data found in this report.

The shielding methodology and the derivation of equations used for determination of barrier requirements were presented in NCRP 49. We could calculate the X-ray exposed dose after attenuation and thickness of protection barrier in the clinic facilities accordingly.

For the purpose of maximizing the benefit/cost ratio to diagnostic shielding, various construction materials must be installed carefully and attenuation rate considered thoroughly.

I. 서 론

방사선에 대한 방어의 원칙에는 시간, 거리, 차폐의 3대 원칙이 있다. 이 중 차폐라는 적극적인 방법을 많이 사용하고 있다. 이 차폐는 필요한 부위를 적절하게 차폐하는 것이 가장 경제적으로 유리하다. 하지만 병원이나 의원의 방사선 방어시설을 보면 차폐가 부족한 시설도 많지만 과다한 차폐로 경제적 낭비를 초래하는 경우를 많이 보았다. 특히 병원 건물로 설계되지 않은 일반 건축물 내에 방사선발생장치가 있는 경우 방사선 방어에 관한 보다 세심한 배려가 요구된다. 방사선치료용 에너지영역의 차폐물질에 대한 감약율이나 투과도에 대한 연구는 많이 있으나 진단용 에너지영역의 차폐물질에 대한 검토는 많이 이루어지지 않고 있다. 특히 우리 나라에서만 사용되고 있는 벽면재료인 블록, 바닥재료인 인조대리석 등의 투과율실험은 거의 이루어지지 않았다. Benjamin R Archer,¹⁾ Douglas J Simpkin²⁾ 등은 진단영역에서 차폐에 대한 계획과 계산방법을 수립하였고 Trout E. D. 등은 건축재료의 차폐벽에 관한 연구³⁾를 하였다. 그러나 여러 연구들은 납과 콘크리트 또는 철, 석고보드 등 자신의 나라에서 사용되는 건축재료의 투과율 실험에 국한되어 있다. 저자들은 진단용 X선 에너지영역에서 국내에서 사용

되는 각종 건축재료의 X선 감약율과 투과도, 선흡수계수를 구하여 실제 건축물의 차폐 능력을 알아보고 적절한 차폐 물질의 선정과 차폐 벽의 두께를 알기 위한 기초실험을 하여 그 결과를 보고한다.

II. 실험 기기 및 재료

X-ray Generator : DXG-325(Single phase fullwave rectification)
Detector : Ionization chamber:CN(capintec)-179
Chamber : PM-05(5cc)
건축재료 : 납, 시멘트, 콘크리트, 적벽돌, 흰벽돌, 블록, 대리석, 나무, 유리, 석면

III. 실험방법

진단용X선 에너지영역에 있어서 각종 건축재료의 감약율을 알기 위하여 9종류의 건축재료 즉 벽면구성재료, 바닥구성재료, 마감재료 등을 수집하여 narrow beam을 통과한 X선이 얼마나 감약 되는가를 실험하였다. X선 발생장치는 단상전파정류장치 DXG-325를 사용하

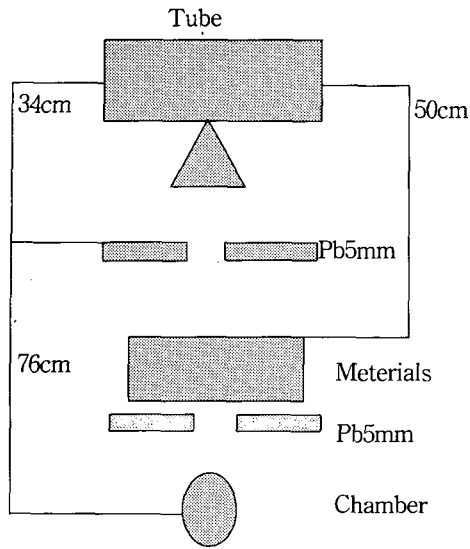


그림 1. 실험방법의 기하학적 배치

였다. 먼저 chamber와 tube focus와의 거리를 1m가 되게 하고 focus로부터 34cm되는 곳에 3.5×3.5cm 네모진 hole의 field 납판을 두어 선속을 조절하여 narrow beam으로 하였다. Focus로부터 50cm떨어진 곳에 시료를 놓아 산란선의 영향을 최소화하고 관전압을 60, 80, 100, 120 kVp로 변화시키면서 건축물의 두께와 종류에 따라 입사선량과 투과 선량을 측정하였다. X선 검출부는 5×5cm hole의 납판을 두어 조사야 및 산란선을 제한하였다.

IV. 실험결과

1. 실험재료의 물리적 특성과 관전압에 따른 선흡수계수

실험에 의하여 반가층을 구하고 구해진 반가층으로부터 각 관전압별 선흡수계수를 다음의 공식에 의하여 구하였다.

$$\mu = 0.693/HVL$$

콘크리트, 블럭 등 건축재료는 밀도에 따라 X-선흡수가 달라지기 때문에 실험에 사용한 건축재료의 밀도와 두께를 표 1에 나타내었다. 밀도는 아르키메데스의 원리를 이용하여 실험에 시료를 물속에 넣어 측정하였으며 사용된 차폐물질은 표준 밀도의 시료를 따로 만들지 않고 실제 건축물에 사용되었던 재료를 구하여 실험하였다. 예를 들어 U.S Geological service(ASTM 1988)의 표준밀도가 2.00~2.22 g/cm³(평균 2.11 g/cm³)인 반면 실험에 사용된 콘크리트의 밀도는 1.96 g/cm³이었다. 그 결과 납의 선흡수계수는 60 kVp에서 4.5377로 가장 컸으며 관전압이 상승할수록 흡수계수는 적어져 120 kVp에서는 2.3416이 되었다. 콘크리트의 선흡수계수는 60 kVp에서 0.9561이었으며 120 kVp에서는 0.5198로 나타났다.

표 1. 실험재료의 물리적 특성과 관전압에 따른 선흡수계수

	질량 부피 밀도 (g) (cm ³)	밀도 (g/cm ³)	두께 (cm)	60kVp	80kVp	100kVp	120kVp	
				선흡수계수 (μ ₆₀)	선흡수계수 (μ ₈₀)	선흡수계수 (μ ₁₀₀)	선흡수계수 (μ ₁₂₀)	
블록	8847	4321	2.05	10.5	0.5146	0.4245	0.3395	0.2780
흰벽돌	2055	777	2.64	9.0	0.7301	0.5437	0.4652	0.3860
적벽돌	1833	708	2.59	9.0	0.8693	0.6614	0.5562	0.4751
콘크리트	6360	3242	1.96	6.5	0.9561	0.7372	0.6155	0.5198
대리석	1891	602	3.14	3.3	1.3505	1.0760	0.9158	0.7386
시멘트	1291	495	2.61	4.4	1.5699	1.2549	1.0809	0.9545
나무	2264	8827	0.30	2.9	0.0183	0.0186	0.0154	0.0133
석면	1213	923	1.31	0.5	0.2258	0.1817	0.1437	0.1254
유리	626	175	3.58	0.6	0.2866	0.2231	0.1970	0.1705
Pb	153.1	13.5	11.34	0.015	4.5377	3.3951	2.7864	2.3416

2. 각종건축재료의 X선 투과율

각종 건축재료의 X선 투과율 측정결과는 관전압별로 건축재료 20cm까지의 감약율을 그림 2-1~4에 나타내었다. 보다 구체적 수치를 표 2~5까지 나타내었다. 실험재료의 X선 투과율이 큰 순서로 나열하면 나무, 석면, 유리, 블록, 흰벽돌, 적벽돌, 콘크리트, 대리석, 시멘트, 납의

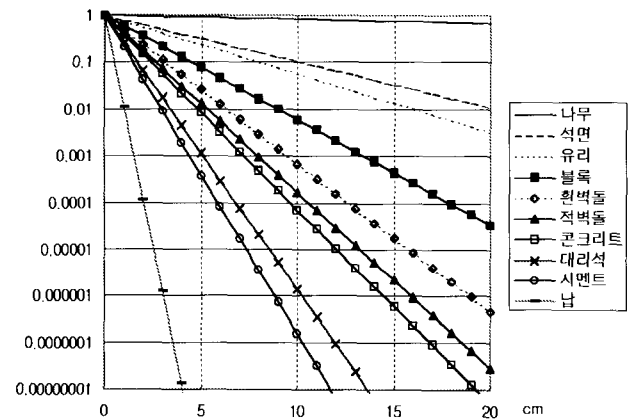


그림 2-1. 관전압 60 kVp의 감약율

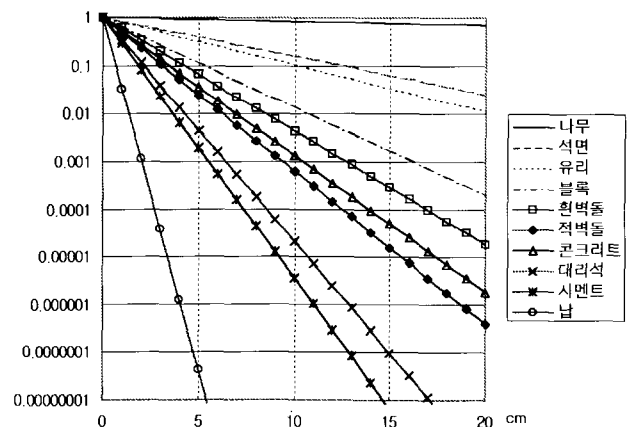


그림 2-2. 관전압 80 kVp의 감약율

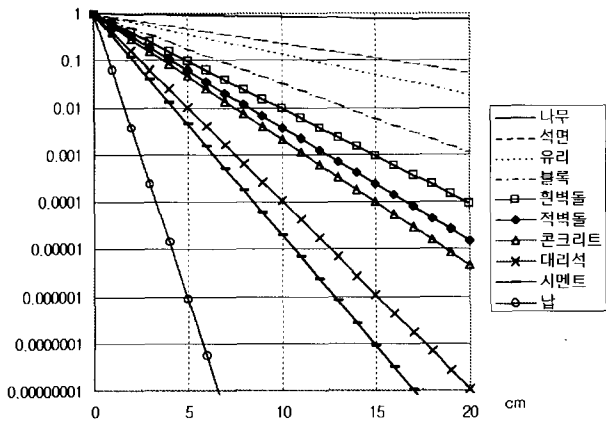


그림 2-3. 관전압 100kVp의 감약율

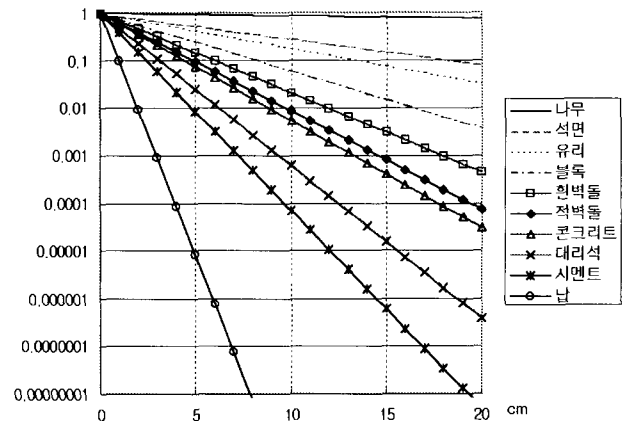


그림 2-4. 관전압 120 kVp의 감약율

표 2. 각종 건축재료의 X선감약율(60kVp)

60kvp	유리	석면	나무	흰벽돌	대리석	적벽돌	시멘트	블록	콘크리트	납
0	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1
1	0.750786	0.797899	0.981884	0.481840	0.259103	0.419229	0.208057	0.597718	0.384391	0.010698
2	0.563679	0.636643	0.964096	0.232170	0.067134	0.175753	0.043288	0.357267	0.147757	0.000114
3	0.423202	0.507977	0.946631	0.111869	0.017395	0.073681	0.009006	0.213545	0.056796	1.22E-06
4	0.317734	0.405314	0.929482	0.053903	0.004507	0.030889	0.001874	0.127640	0.021832	1.31E-08
5	0.238550	0.323400	0.912643	0.025973	0.001168	0.012950	0.000390	0.076293	0.008392	1.4E-10
6	0.179100	0.258041	0.896110	0.012615	0.000303	0.005429	0.000081	0.045601	0.003226	1.5E-12
7	0.134466	0.205890	0.879876	0.006030	0.000078	0.002276	1.69E-05	0.027257	0.001240	1.6E-14
8	0.100955	0.164280	0.863937	0.002906	0.000020	0.000954	3.51E-06	0.016292	0.000477	1.72E-16
9	0.075795	0.131079	0.848286	0.001400	5.26E-06	0.000400	7.31E-07	0.009738	0.000183	1.84E-18
10	0.056906	0.104588	0.832918	0.000675	1.36E-06	0.000168	1.52E-07	0.005821	7.04E-05	1.96E-20
11	0.042724	0.083450	0.817829	0.000325	3.53E-07	0.000070	3.16E-08	0.003479	2.71E-05	2.1E-22
12	0.032077	0.066585	0.803013	0.000157	9.16E-08	0.000029	6.58E-09	0.002079	1.04E-05	2.25E-24
13	0.024083	0.053128	0.788466	0.000075	2.37E-08	1.24E-05	1.37E-09	0.001243	4E-06	2.4E-26
14	0.018081	0.042391	0.774182	0.000036	6.15E-09	5.18E-06	2.85E-10	0.000743	1.54E-06	2.57E-28
15	0.013575	0.033824	0.760157	0.000018	1.59E-09	2.17E-06	5.93E-11	0.000444	5.91E-07	2.75E-30
16	0.010192	0.026988	0.746386	8.44E-06	4.13E-10	9.1E-07	1.23E-11	0.000265	2.27E-07	2.94E-32
17	0.007652	0.021534	0.732865	4.07E-06	1.07E-10	3.82E-07	2.57E-12	0.000159	8.73E-08	3.15E-34
18	0.005745	0.017182	0.719588	1.96E-06	2.77E-11	1.6E-07	5.34E-13	0.000095	3.36E-08	3.37E-36
19	0.004313	0.013709	0.706552	9.44E-07	7.18E-12	6.71E-08	1.11E-13	0.000057	1.29E-08	3.6E-38
20	0.003238	0.010939	0.693753	4.55E-07	1.86E-12	2.81E-08	2.31E-14	0.000034	4.96E-09	3.86E-40

표 3. 각종 건축재료의 X선감약율(80kVp)

80kVp	유리	석면	나무	흰벽돌	대리석	적벽돌	시멘트	블록	콘크리트	납
0	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1
1	0.800028	0.833840	0.981584	0.580625	0.340951	0.478474	0.285111	0.654128	0.516149	0.033537
2	0.640046	0.695289	0.963506	0.337125	0.116247	0.228937	0.081288	0.427883	0.266409	0.001125
3	0.512055	0.579759	0.945762	0.195743	0.039635	0.109540	0.023176	0.279890	0.137507	3.77E-05
4	0.409658	0.483426	0.928344	0.113653	0.013513	0.052412	0.006608	0.183084	0.070974	1.27E-06
5	0.327738	0.403100	0.911248	0.066990	0.004607	0.025078	0.001884	0.119760	0.036633	4.24E-08
6	0.262200	0.336121	0.894466	0.038315	0.001571	0.011999	0.000537	0.078339	0.018908	1.42E-09
7	0.209767	0.280271	0.877993	0.022247	0.000536	0.005741	0.000153	0.051243	0.009759	4.77E-11
8	0.167820	0.233701	0.861823	0.012917	0.000183	0.002747	0.000044	0.033520	0.005037	1.6E-12
9	0.134261	0.194869	0.845952	0.007500	0.000062	0.001314	1.24E-05	0.021926	0.002600	5.37E-14
10	0.107412	0.162490	0.830372	0.004355	2.12E-05	0.000629	3.55E-06	0.014343	0.001342	1.8E-15
11	0.085933	0.135490	0.815080	0.002528	7.24E-06	0.000301	1.01E-06	0.009382	0.000693	6.04E-17
12	0.068749	0.112977	0.800069	0.001468	2.47E-06	0.000144	2.89E-07	0.006137	0.000358	2.02E-18
13	0.055001	0.094205	0.785335	0.000852	8.41E-07	0.000069	8.23E-08	0.004014	0.000185	6.79E-20
14	0.044002	0.078552	0.770872	0.000495	2.87E-07	0.000033	2.35E-08	0.002626	0.000095	2.28E-21
15	0.035203	0.065500	0.756675	0.000287	9.78E-08	1.58E-05	6.69E-09	0.001718	0.000049	7.64E-23
16	0.028164	0.054616	0.742740	0.000167	3.33E-08	7.55E-06	1.91E-09	0.001124	0.000025	2.56E-24
17	0.022532	0.045541	0.729061	0.000097	1.14E-08	3.61E-06	5.44E-10	0.000735	1.31E-05	8.59E-26
18	0.018026	0.037974	0.715634	0.000056	3.88E-09	1.73E-06	1.55E-10	0.000481	6.76E-06	2.88E-27
19	0.014421	0.031664	0.702455	0.000033	1.32E-09	8.27E-07	4.42E-11	0.000314	3.49E-06	9.66E-29
20	0.011537	0.026403	0.689518	0.000019	4.51E-10	3.96E-07	1.26E-11	0.000206	1.8E-06	3.24E-30

표 4. 각종 건축재료의 X선감약율(100 kVp)

100kVp	유리	석면	나무	흰벽돌	대리석	적벽돌	시멘트	블록	콘크리트	납
0	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1
1	0.821206	0.866189	0.984707	0.628033	0.400204	0.573393	0.339287	0.712117	0.540362	0.061643
2	0.674380	0.750284	0.969649	0.394426	0.160163	0.328780	0.115116	0.507110	0.291991	0.0038
3	0.553805	0.649888	0.954820	0.247712	0.064098	0.188520	0.039057	0.361121	0.157781	0.000234
4	0.454788	0.562925	0.940218	0.155572	0.025652	0.108096	0.013252	0.257161	0.085259	1.44E-05
5	0.373475	0.487600	0.925840	0.097704	0.010266	0.061982	0.004496	0.183128	0.046071	8.9E-07
6	0.306700	0.422354	0.911681	0.061361	0.004109	0.035540	0.001525	0.130409	0.024895	5.49E-08
7	0.251864	0.365838	0.897739	0.038537	0.001644	0.020378	0.000518	0.092866	0.013452	3.38E-09
8	0.206832	0.316885	0.884010	0.024203	0.000658	0.011685	0.000176	0.066132	0.007269	2.08E-10
9	0.169852	0.274482	0.870492	0.015200	0.000263	0.006700	0.000060	0.047093	0.003928	1.29E-11
10	0.139483	0.237754	0.857179	0.009546	0.000105	0.003842	2.02E-05	0.033536	0.002123	7.92E-13
11	0.114545	0.205940	0.844071	0.005995	0.000042	0.002203	6.86E-06	0.023882	0.001147	4.88E-14
12	0.094065	0.178383	0.831163	0.003765	1.69E-05	0.001263	2.33E-06	0.017006	0.000620	3.01E-15
13	0.077247	0.154513	0.818452	0.002365	6.76E-06	0.000724	7.9E-07	0.012111	0.000335	1.86E-16
14	0.063435	0.133838	0.805936	0.001485	2.7E-06	0.000415	2.68E-07	0.008624	0.000181	1.14E-17
15	0.052094	0.115929	0.793611	0.000933	1.08E-06	0.000238	9.09E-08	0.006141	0.000098	7.05E-19
16	0.042780	0.100416	0.781474	0.000586	4.33E-07	0.000137	3.08E-08	0.004373	0.000053	4.35E-20
17	0.035131	0.086979	0.769524	0.000368	1.73E-07	0.000078	1.05E-08	0.003114	0.000029	2.68E-21
18	0.028850	0.075341	0.757756	0.000231	6.94E-08	0.000045	3.55E-09	0.002218	1.54E-05	1.65E-22
19	0.023692	0.065259	0.746167	0.000145	2.78E-08	0.000026	1.2E-09	0.001579	8.34E-06	1.02E-23
20	0.019456	0.056527	0.734757	0.000091	1.11E-08	0.000015	4.09E-10	0.001125	4.51E-06	6.28E-25

표 5. 각종 건축재료의 X선 감약율(120kVp)

120kVp	유리	석면	나무	흰벽돌	대리석	적벽돌	시멘트	블록	콘크리트	납
0	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1
1	0.843237	0.882180	0.986739	0.679788	0.477800	0.621825	0.385013	0.757313	0.594662	0.096174
2	0.711049	0.778241	0.973654	0.462112	0.228293	0.386667	0.148235	0.573523	0.353622	0.009249
3	0.599583	0.686548	0.960743	0.314138	0.109078	0.240439	0.057072	0.434337	0.210286	0.00089
4	0.505591	0.605659	0.948003	0.213547	0.052118	0.149511	0.021974	0.328929	0.125049	8.56E-05
5	0.426333	0.534300	0.935431	0.145167	0.024902	0.092970	0.008460	0.249102	0.074362	8.23E-06
6	0.359500	0.471348	0.923027	0.098683	0.011898	0.057811	0.003257	0.188649	0.044220	7.91E-07
7	0.303144	0.415814	0.910787	0.067083	0.005685	0.035948	0.001254	0.142866	0.026296	7.61E-08
8	0.255622	0.366823	0.898709	0.045602	0.002716	0.022354	0.000483	0.108194	0.015637	7.32E-09
9	0.215550	0.323603	0.886791	0.031000	0.001298	0.013900	0.000186	0.081937	0.009299	7.04E-10
10	0.181760	0.285476	0.875032	0.021073	0.000620	0.008643	0.000072	0.062052	0.005530	6.77E-11
11	0.153267	0.251841	0.863428	0.014325	0.000296	0.005375	0.000028	0.046993	0.003288	6.51E-12
12	0.129240	0.222169	0.851978	0.009738	0.000142	0.003342	1.06E-05	0.035588	0.001955	6.26E-13
13	0.108980	0.195993	0.840681	0.006620	0.000068	0.002078	4.08E-06	0.026951	0.001163	6.02E-14
14	0.091896	0.172901	0.829532	0.004500	0.000032	0.001292	1.57E-06	0.020411	0.000691	5.79E-15
15	0.077490	0.152530	0.818532	0.003059	1.54E-05	0.000804	6.06E-07	0.015457	0.000411	5.57E-16
16	0.065343	0.134559	0.807678	0.002080	7.38E-06	0.000500	2.33E-07	0.011706	0.000245	5.36E-17
17	0.055099	0.118705	0.796967	0.001414	3.53E-06	0.000311	8.98E-08	0.008865	0.000145	5.15E-18
18	0.046462	0.104719	0.786399	0.000961	1.68E-06	0.000193	3.46E-08	0.006714	0.000086	4.95E-19
19	0.039178	0.092381	0.775971	0.000653	8.05E-07	0.000120	1.33E-08	0.005084	0.000051	4.77E-20
20	0.033037	0.081497	0.765681	0.000444	3.85E-07	0.000075	5.12E-09	0.003850	0.000031	4.58E-21

순서로 X선 투과율이 작아진다. 이 실험결과는 각종 건축재료를 투과한 후의 X선투과율 또는 X선 감약율의 계산에 유용하게 활용 할 수가 있다.

3. 각종 건축재료의 관전압별 반가층

각종 건축재료의 관전압별 반가층 측정결과는 그림 3-1~그림 3-4와 같으며 이와같은 데이터는 선풍수계수의 계산과 X선차폐벽 두께계산에 이용할수 있을 것이다. 건축재료의 밀도가 달라 다른 연구자의 연구와 단순히 비교하기는 어려우나 Simpkin, Trout et al, NCRP Report

No. 49⁴⁾과 비교하면 다음과 같다. 다른 나라에서 사용되고 있는 Gypsum wallboard 등의 건축재료에 대한 반가층 비교는 국내의 건축재료와 밀도 등 특성이 매우 달라 비교가 곤란하였다. 선행 연구자들과의 반가층치의 비교 결과는 그 값이 관전압별로 일치 하지는 않으나 경향은 일치하고 있다. 실험값에 차이가 있는 것은 장치의 선질 및 투과실험시의 조사면적이 다르므로 해서 차이를 나타내는 것으로 사료된다. 그리고 같은 콘크리트라 하여도 조성과 밀도가 완전히 같을 수는 없기 때문에 이해 할 수 있을 것이다.

	50kVp	70kVp	100kVp	125kVp	HVL(mm)
Concrete					
Current work	5.10	9.60	12.70	15.00	
Simpkin(1989)	9.32	10.36	15.31	18.33	
Troute et al.(1959)	5.08	12.70	17.78	20.32	
NCRP Report No.49(1976)	4.30	8.40	16.00	20.00	

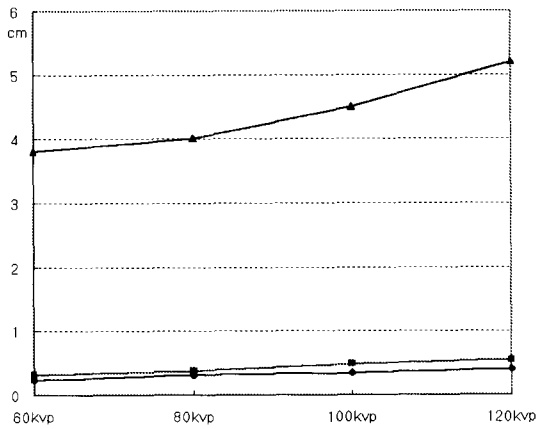


그림 3-1. 각종 건축재료의 관전압별 반가층

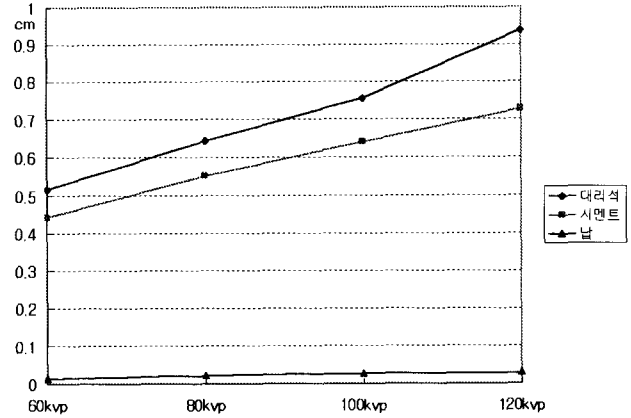


그림 3-4. 각종 건축재료의 관전압별 반가층

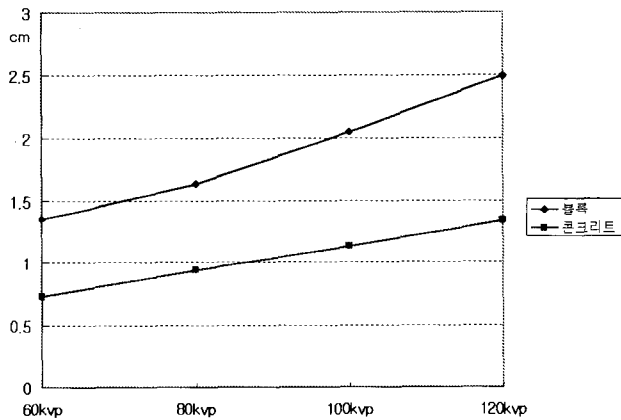


그림 3-2. 각종 건축재료의 관전압별 반가층

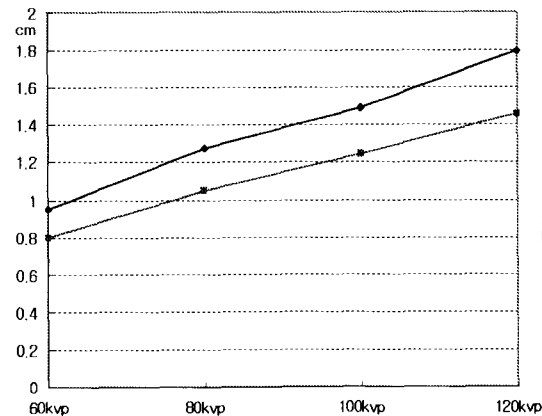


그림 3-3. 각종 건축재료의 관전압별 반가층

4. 각종 건축재료의 관전압별 1/10가층

각종 건축재료의 관전압별 1/10가층 측정결과는 그림 4-1~그림 4-4와 같으며 콘크리트의 1/10가층만을 NCRP Report No. 49⁵⁾과 비교하면 다음과 같다.

	50kVp	70kVp	100kVp	125kVp	HVL(mm)
Concrete					
Current work	17.00	28.00	39.00	50.00	
NCRP Report No.49(1976)	15.00	28.00	53.00	66.00	

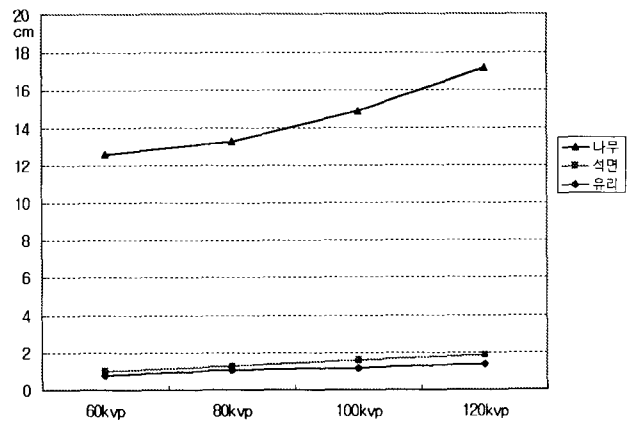


그림 4-1. 각종 건축재료의 관전압별 1/10가층

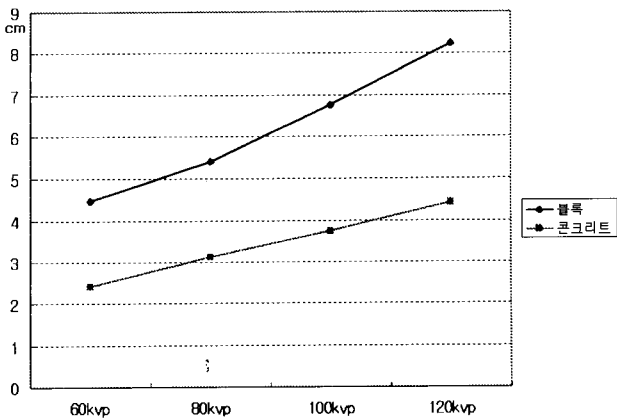


그림 4-2. 각종 건축재료의 관전압별 1/10가층

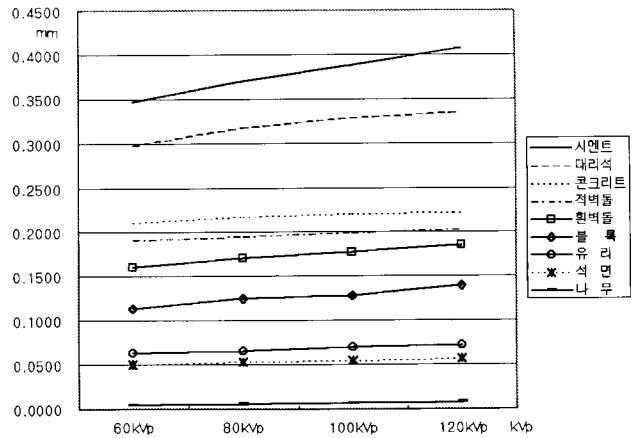


표 6. 각종 건축재료의 1cm당 납당량(mm)

	60kVp	80kVp	100kVp	120kVp
시멘트	0.3460	0.3696	0.3879	0.4076
대리석	0.2976	0.3169	0.3287	0.3354
콘크리트	0.2107	0.2171	0.2209	0.2220
적벽돌	0.1916	0.1948	0.1996	0.2029
흰벽돌	0.1609	0.1701	0.1769	0.1848
블록	0.1134	0.1250	0.1281	0.1387
유리	0.0632	0.0657	0.0707	0.0728
석면	0.0498	0.0535	0.0546	0.0565
나무	0.0040	0.0055	0.0065	0.0077

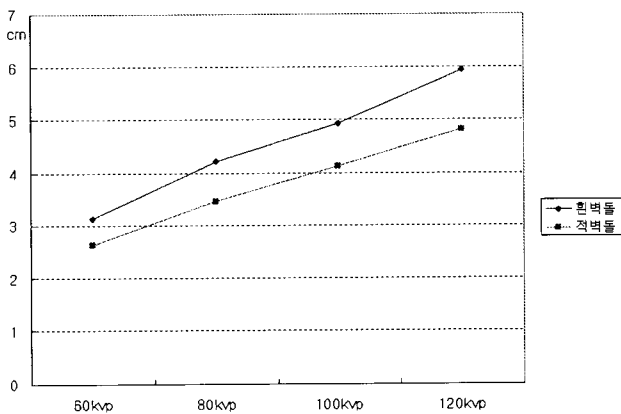


그림 4-3. 각종 건축재료의 관전압별 1/10가층

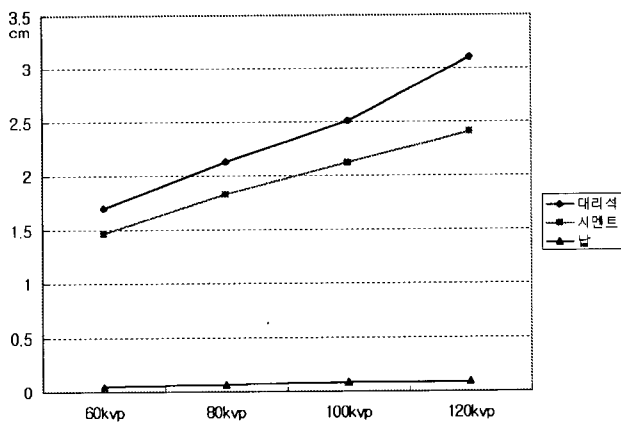


그림 4-4. 각종 건축재료의 관전압별 1/10가층

5. 각종 건축재료의 납당량

X선차폐벽면의 설계를 위하여 각종 건축재료의 납당량을 산출한 결과는 표 6과 그림 5로 나타내었다. 예를 들어 콘크리트 내벽의 두께가 10 cm일 경우 100 kVp에서의 납두께로는 2.2 mm에 해당함을 알 수 있다. 납당량은 X선실의 차폐벽의 두께계산에 있어서 블록, 콘크리트 등의

내벽의 두께를 납의 두께로 환산하고 추가되는 납두께를 계산하기 유용한 데이터로 과다한 차폐로 인한 경제적 손실을 줄일 수 있을 것이다.

V. 고찰

1. 차폐 물질 후면에서의 누설선량 계산

이상의 결과를 바탕으로 임상에서 적용할 수 있는 차폐 물질 후면에서의 피폭선량을 계산의 예를 들어본다. 별도의 부가차폐를 하지않은 건축물에서 인접한 주거공간의 피폭선량을 가정하여보자. 흉부P-A 직접촬영시 100 kVp, 5 mAs의 촬영조건으로 촬영할 경우 1차선에 의한 피폭량은 표면 입사선량이 8 mR이다. 이때 환자에 의한 감염이 없이 15cm의 흰 벽들로된 벽을 투과하면 이때의 X선투과율은 0.001이다(그림 2-3). 촬영거리가 2m라하고 흰벽들에 의한 감쇄율과 거리역자승에 의한 감염을 고려하여 15 cm 흰벽돌 벽을 투과한 직후의 1회조사에 의한 벽면 투과후의 선량은 $8 \times 0.001 \times 2002 / 2152 = 0.00692$ mR이 된다. 다시 이 벽과 인접한 사무실 등 주거공간에서 벽면으로부터 1m 떨어진 곳에서 일하는 근무자의 피폭선량은 거리역자승법칙을 이용하여 $0.00692 \times 2152 / 3152 = 0.00322$ mR이 된다. 이와같은 흉부촬영을 1일 50회, 주당 6일 가동할

경우 주당 피폭 선량은 $0.00322 \times 50 \times 6 = 0.966 \text{ mR}$ 이 되며 연간 50주를 가동 할 경우 $0.996 \times 50 = 48.3 \text{ mR}$ 로 연간 적산 피폭량은 48.3 mR 이 된다. 진단용방사선발생장치의 안전관리에 관한 규칙에서는 방사선 방어시설의 외측에서 방사선 누설선량의 한도가 방사선관계 종사자의 거주구역은 주당 100 mR 이하이고 비방사선관계 종사자의 거주구역은 주당 10 mR 이하가 되도록 차폐할 것⁵⁾을 요구하고 있다. 따라서 이 경우에는 방사선종사자의 경우이건 비방사선종사자의 경우이건 누설선량이 한계선량에 훨씬 미치지 않으며 별도의 부가차폐는 필요하지 않음을 알 수 있다.

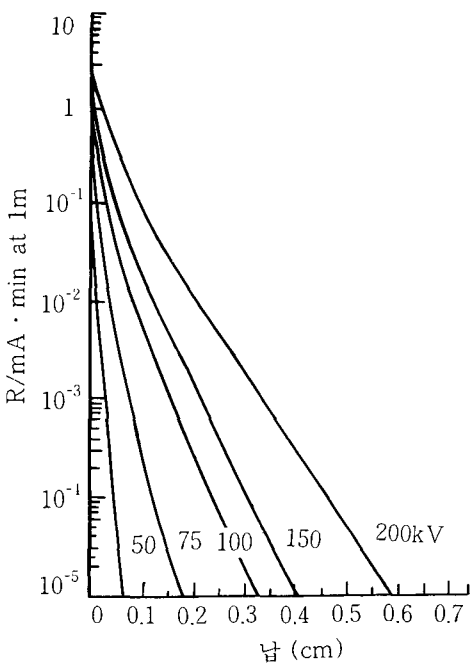


그림 6. 납에 대한 X선 투과율

2. 차폐벽 두께의 계산

진단용 X선 영역에서의 납에 대한 차폐벽의 실험치가 나와 있으므로 주당 부하량을 이용한 납의 차폐벽 두께를 계산하여 다른 건축재료의 두께로 환산하는 예를 들어 보기로 한다.^{7,8,9)}

100 kVp의 X선 에너지로 요추를 전후, 측면의 2회 촬영할 경우 mAs량은 1회조사에 100 mAs로하고 촬영거리는 100 cm라고 가정한다. 1일 50명의 환자를 촬영실의 일정한 방향으로 노출하며 주당 6일 가동한다고 할 때 1차선 차폐벽의 두께를 관리구역 수준(0.1 R/W 이하)으로 계산하면(이때 사용인자 U=1, 점유인자 T=1이다)

X선 투과율(R/mA · min at 1m)
거리

$$B = \frac{P \times d^2}{W \times U \times T}$$

$$d = 1\text{m}$$

주당부하

$$W = 50\text{명} \times 2\text{방향} \times 100\text{mAs} \times 6\text{일}/60 = 1000 \text{ mA} \cdot \text{min}/\text{week}$$

사용인자

$$U=1$$

점유인자

$$T=1$$

이 X선 투과율을 그림 6에서 찾아보면 차폐에 필요한 납의 두께 = 0.24cm이 된다.

납으로만 차폐할 경우에는 2.4mm 두께이면 관리구역 수준으로 관리 할 수 있으며 이와 등가의 다른 건축재료의 두께는 그림 2-3으로부터 콘크리트의 두께는 약 10cm, 흰벽들은 약 14 cm가 된다.

VI. 결 론

진단용X선에너지 영역에서 각종 건축재료의 투과율을 실험하였다. 이상의 실험에 사용된 건축재료는 우리나라에서만 사용되는 건축재료가 있어서 외국의 건축재료의 투과율과는 일일이 비교할 수가 없었으나 납, 콘크리트 등의 투과율은 다른 연구자들의 실험과 대략적으로 일치하였다. 이번 실험은 선흡수계수의 계산을 위하여 좁은 선속을 사용하였으며 넓은 선속의 X선에 대하여도 추가적인 실험이 필요하다고 여겨진다. 본 실험의 데이터는 고찰에서 예를 든 바와같이 차폐물질투과후의 누설선량의 계산이나 각종 차폐체를 이용한 차폐벽의 두께계산에 유용하게 활용할 수 있을 것이다. 이를 이용하여 부족한 차폐로 인한 피폭선량을 줄이고 과다한 차폐로 인한 경제적 손실을 최소화 하는데 도움이 되기를 기대한다.

참 고 문 헌

1. Benjamin R. Archer et al : Diagnostic X-ray Shielding Design Based on Empirical Model of Photon Attenuation, Health Physics Vol 44. no 5, 507~517, 1983.
2. Douglas J. Simpkin : Shielding Requirements for Constant-potential Diagnostic X-ray Beams Determined by a Monte Carlo Calculation, Health Physics Vol 56. No 2, 151~164, 1989.
3. Troute E. D., Kelley J. P. and Lucas A. C. : Conventional Building Materials as Protective Radiation Barriers, Radiology 76, 237, 1961.
4. Raymond P. Rossi : Broad Beam Transmission Pro -

- properties of Some Common Shielding Materials for use in Diagnostic Radiology, Health Physics Vol 61, No 5, 601~608, 1991.
5. NCRP 49 : Structural Shielding Design and Evaluation for Medical use of X-rays and Gamma rays of Energies up to 10 MeV, 1976.
 6. 김지순 : 진단용 방사선의 방어시설, 화상연구 Vol. 3 NO 4, 1995.
 7. 厚生省國立病院管理共同研究關信班 : 醫用放射線しゃはい計算指針, 1989.
 8. X선 진단실의 차폐계산 연습: 화상연구 Vol. 4 NO 1, 1996.
 9. 방사선보건관리학교재편찬위원회 : 방사선보건관리학, 청구문화사, 151, 1994.