

X선診斷 領域에 있어서의 深部線量分布의 測定

高麗大學校 保健專門大學 放射線科

金 裕 賢

東亞엑스線機械 放射線技術研究所

許 俊 · 金成哲 · 尹鍾玟

— Abstract —

Measurement of Dose Distribution for Diagnostic X-ray

You Hyun Kim

Dept. of Radiologic Technology, Allied Health Sciences, Korea University

Joon Huh, Seung Chul Kim, Yoon Jong Min

Institute of Radiological Technology, Dong A X-ray Co., LTD

This study was performed to find out dose distribution, pdd, surface dose and off center ratio. A few articles is analysis of dose data in radiotherapy field, there is no standardized measure of an assessment of exposure dose at diagnostic radiology, yet. And authors demonstrated a new assessment measure by ion chamber, TLD and film dosimetry system.

We assurance that our data is useful to quantiative analysis of exposure dose and clinical fields for reduction of radiation dose.

I. 緒 論

오늘날 진단영상부문은 최신 의료기술의 발전에 힘입어 초음파, 핵자기공명장치, 전산화단층촬영장치, 핵의학영상장치 등의 이용으로 일반촬영에서 볼 수 없었던 진단 정보를 얻을 수 있는 것은 사실이나 아직도 일반촬영이 훨씬 많은 진단정보를 제공하고 있는 것은 부인할 수 없다.

따라서 일반촬영이 진단방사선 영역에서 상당부분을 차지하고 있으며 이에 따른 의료 피폭이나 장치의 안전관리에 대한 관심도 고조되어 국제방사선방어위원회(ICRP)에서는 선량제한을 체계화 시킬 것을 권고하고 있으며 방사선방호의 정당화와 피폭의 최적화에 관한 권고치를 제시^{1,2)}하고 있으며 국내에서도 진단방사선장치 의 안전관리법을 제정하여 세계적인 흐름에 발 맞추고자 하고 있다.

人間이 받는 방사선의 양은 순수한 자연방사선에 비하여 인공방사선원에 의한 방사선피폭이 급격히 증가하고 있는 현실에 방사선피폭의 정당성을 최우선으로 하는 의료피폭은 무엇보다 중요하며³⁾, 이 의료피폭에 대한 영향은 피폭된 장기의 선량 또는 X-선이 입사되는 면의 피부선량으로 사용되어 왔으나 사실은 피폭된 부위 전체에 대한 적분선량으로서 기준을 삼아야 타당하리라 본다.

그런데 피폭선량의 정량적 분석을 위한 기초자료에 대한 연구보고는 많이 있으나 그 대부분이 치료영역의 에너지에 대한 자료^{4,5,6)}로 국한된 것이 사실이다. 이에 저자는 진단방사선 영역에서의 심부선량에 대한 기초자료를 구하고자 본 실험을 한 바 있어 그내용을 보고하는 바이다.

II. 實驗機器 및 方法

1. 실험기기

X선 발생장치 : 東亞 DXG 550 150kV, 500mA

측정기 : *Electrometer : Capintec 192 exposure/exposure rate meter

*Ion chamber : PM 05

*TLD : Reader 2500

Kyokko TLD Annealing Oven

소자 : MG_2SiO_4-Tb

*Film : Fuji-Rx

*Mutidata Film Dosimetry System

*Phantom : acryl phantom

* 자동현상기 : 두산 DSP-5000(90 sec)

2. 실험방법

관전압에 따른 표면선량의 변화를 보기 위하여 조사야 25×25 cm, SSD 100 cm에서 선량은 100 mR으로 고정하고 관전압을 60 kV에서 140 Kv까지 변화시켜 측정하였고 또한 거리에 따른 표면선량의 변화를 보기 위하여 그림 1에서와 같이 관전압과 조사야를 80 kVp, $25 \times$

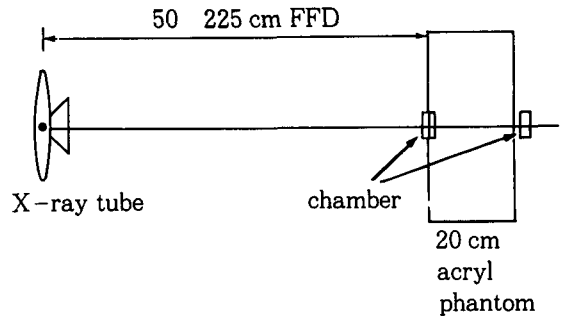


그림 1. Schematic diagram for surface dose by SSD

25 cm에 고정하고 20 cm 두께의 아크릴 팬텀을 투과한 선량을 일정하게 유지시키기 위해 mAs치를 거리에 따라 변화 시키면서 아크릴 표면에서의 선량을 측정하였다.

심부선량 백분율은 ion chamber와 TLD를 이용하여 그림 2에서와 같이 표면에서 20 cm 깊이까지를 관전압 60. 70. 80. 90. 100. 110. 120 kVp, 조사야 25×25 cm, SSD 100 cm로 phantom내에 조사야의 중심점에서 1 cm 간격으로 측정하였으며, OCR(off-center ratio)는 Fuji-Rx film을 그림 3에서와 같이 관전압 80 kVp, 조사야 25×25 cm, SSD 100 cm으로 측정하여 자동현상기로 현상후 Multidata film dosimetry system을 이용하여 data값을 얻었다.

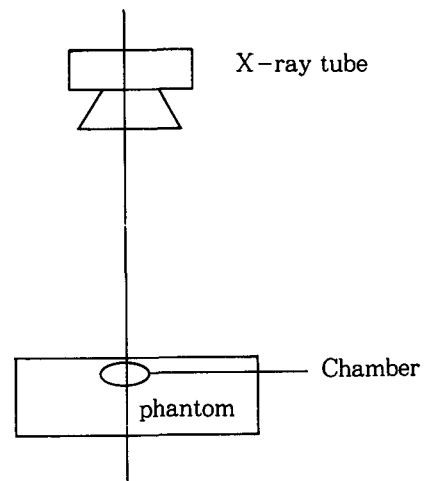


그림 2. Schematic diagram for measurement of PDD data

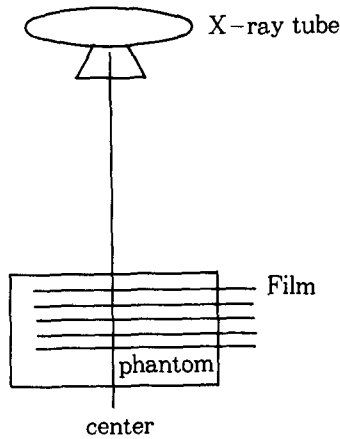


그림 3. Schematic diagram for measurement of OCR data

때의 표면선량을 구할 수 있으며 이는 식 (1)로서 표시하여 이용할 수 있다.

$$D = D_x \times \left(\frac{100}{100+d} \right)^2 \times \frac{mAs}{100} \dots\dots\dots (1)$$

D_x : 그래프에서 읽은 표면선량
 $100+d$: 초점-표면간거리
 mAs : 촬영시의 mAs치

2. 촬영거리에 따른 표면선량

거리변화에 따른 표면선량의 변화는 표 2와 그림 5와 같이 거리의 증가에 따라 같은 사진효과를 내기 위해서 선량(mAs)을 증가시켰음에도 불구하고 표면선량은 감소한 것으로 나타났다.

III. 實驗 結果

1. 관전압에 따른 표면선량

관전압에 따른 표면선량은 표 1과 그림 4에서 보듯이 관전압의 증가에 따라 증가하는 것으로 나타나 관전압과 직선관계를 나타내므로 임의의 촬영시 그 관전압을 그림에서 읽어 그

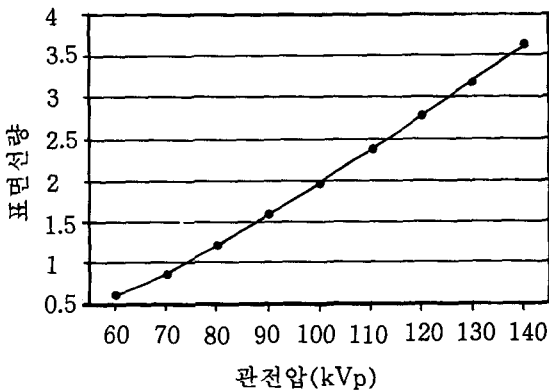


그림 4. 관전압에 따른 표면선량

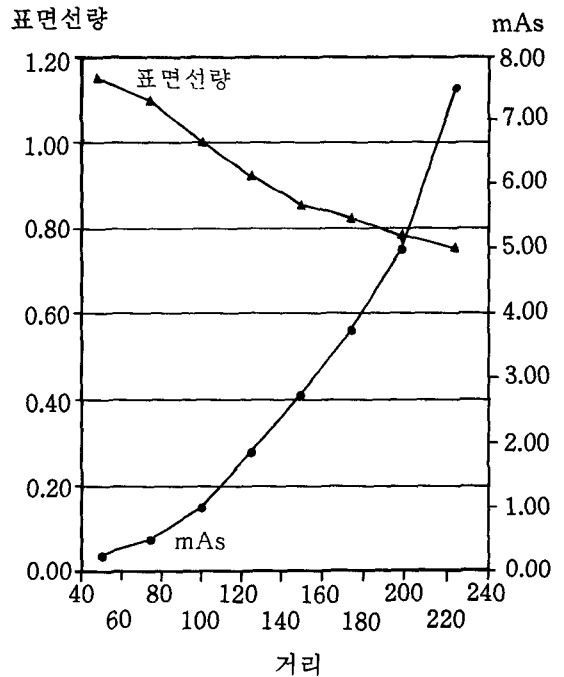


그림 5. 거리에 따른 표면선량의 변화

표 1. 관전압에 따른 표면선량의 변화

관전압(kV)	60	70	80	90	100	110	120	130	140
표면선량($\times 10^{-4}$ C/kg)	0.61	0.86	1.21	1.59	1.97	2.36	2.76	3.18	3.60

표 2. 거리변화에 따른 표면선량의 변화

거리 (cm)	mAs(선량) (mA × sec)	형광량 (사진효과, F)	표면선량 (mR)
50	5	17.5	110
75	10	17.5	105
100	20	17.5	96
125	37.5	17.4	88
150	55	17.2	82
175	75	18.0	79
200	100	17.5	75
225	150	17.5	72

3. 심부선량

Ion chamber를 이용하여 측정한 data는 표 3과 같이 나타났고 이 중 60, 80, 100, 120 kVp

표 3. 관전압에 따른 심부선량 백분율(ion chamber)

Kv \ depth	60	70	80	90	100	110	120
0 cm	100	100	100	100	100	100	100
1	85.5	83.31	87.25	89.04	88.47	93.43	90.49
2	68.0	69.80	73.33	75.08	76.88	78.51	79.58
3	56.08	58.04	62.25	64.45	66.19	69.25	70.42
4	46.04	47.84	50.83	53.82	56.44	59.40	60.28
5	36.01	39.22	42.25	45.18	48.02	51.94	52.11
6	28.99	32.55	35.00	37.87	41.09	44.78	45.07
7	22.30	26.27	29.75	31.89	34.31	37.31	37.68
8	18.17	21.57	24.17	26.91	29.21	31.94	33.45
9	15.27	17.65	20.08	22.26	24.60	26.87	28.17
10	11.48	14.51	16.42	18.94	20.15	22.99	22.54
11	9.25	12.55	13.33	15.61	16.49	19.40	20.77
12	7.47	9.41	11.42	13.29	13.86	17.01	17.25
13	6.24	8.24	9.75	10.96	11.73	14.03	15.14
14	5.02	7.06	7.50	9.30	9.75	11.94	12.32
15		5.49	6.42	7.31	7.92	9.55	9.51
16		3.92	4.75	5.98	6.44	7.76	8.45
17			3.33	4.98	5.30	6.27	7.04
18			2.50	3.99	4.46	5.37	5.28
19				3.32	2.97	4.18	4.23
20				1.99	2.48	3.47	3.78

의 그래프는 그림 6과 같다. 또한 TLD를 이용한 심부선량 백분율은 표 4와 같이 나타났다.

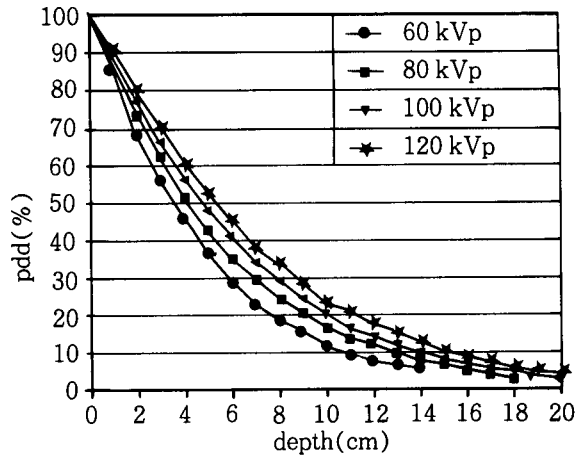


그림 6. 관전압에 따른 심부선량백분율 Ion chamber

표 4. 관전압에 따른 심부선량 백분율(TLD)

관전압 깊이	60	70	80	90	100	110	120
0	100	100	100	100	100	100	100
1	84.11	84.34	85.8	86.47	87.77	88.96	89.00
2	67.31	68.11	74.42	75.57	76.46	77.49	78.38
3	56.36	59.84	62.68	66.44	67.34	68.80	69.35
4	44.54	48.37	51.76	54.52	54.99	55.07	60.44
5	34.38	39.75	44.49	47.14	47.21	49.14	53.22
6	30.21	31.68	37.52	41.76	40.14	44.19	45.29
7	26.51	28.00	32.81	35.64	36.28	38.15	39.81
8	22.74	24.61	27.41	31.79	32.85	32.94	36.12
9	18.55	21.58	23.51	27.11	32.02	29.79	32.90
10	15.95	18.29	19.74	26.48	27.47	27.79	30.10
11	14.25	16.96	18.09	25.29	26.28	26.31	29.34
12	11.62	13.24	15.42	18.16	19.69	20.31	24.70
13	10.42	11.29	13.32	16.45	16.85	19.44	20.34
14	8.47	9.65	13.61	15.98	17.88	17.49	19.97
15	7.52	8.20	10.37	14.64	14.03	14.65	16.47
16	6.77	7.81	7.94	14.51	14.37	14.36	15.21
17	5.68	6.58	7.59	12.28	12.48	13.15	14.42
18	4.98	5.63	5.19	10.31	10.82	11.94	12.29
19	4.55	4.05	4.82	8.06	9.97	10.69	11.76
20	3.88	4.32	4.45	7.25	8.60	10.28	10.86

4. OCR data

OCR data는 촬영한 film을 film dosimetry

system으로 분석하여 표 5와 그림 7을 얻었다. 그림 7에서 보듯이 심부로 들어갈수록 조사야 주변부의 선량이 심하게 감소하는 것으로 나타났다.

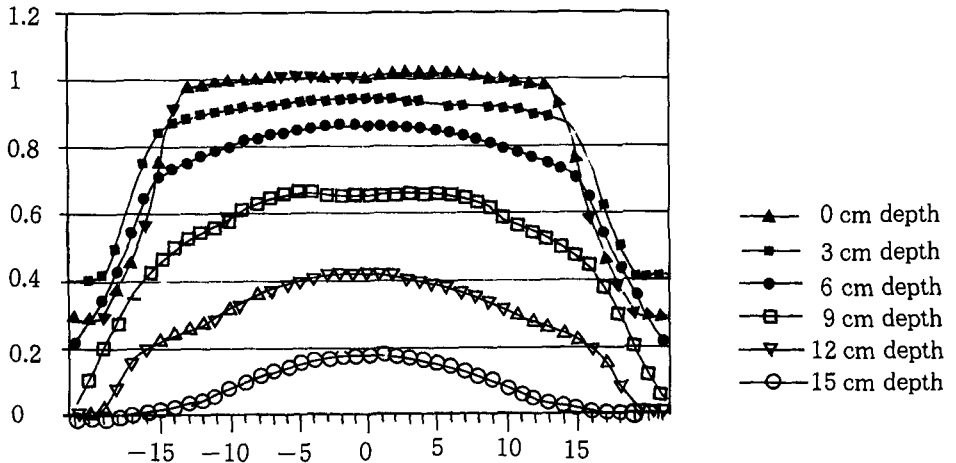


그림 7. OCR curve for 80 kVp FFD 100 cm, F.S 25×25 cm

Н 5. OCR data for 80 kVp

depth	0 cm	3 cm	6 cm	9 cm	12 cm	15 cm
-15	0.29	0.413	0.211	0.072	0	0
-14.6	0.29	0.413	0.275	0.111	0	0
-14.2	0.29	0.413	0.349	0.194	0.017	0
-13.8	0.376	0.5	0.432	0.288	0.077	0
-13.4	0.456	0.617	0.54	0.376	0.152	0
-13	0.569	0.749	0.643	0.441	0.199	0.006
-12.6	0.752	0.839	0.705	0.48	0.22	0.016
-12.2	0.913	0.875	0.735	0.506	0.235	0.021
-11.8	0.972	0.888	0.753	0.526	0.253	0.028
-11.4	0.983	0.897	0.768	0.543	0.269	0.041
-11	0.987	0.902	0.779	0.557	0.284	0.054
-10	0.993	0.909	0.804	0.585	0.319	0.079
-9	0.991	0.916	0.815	0.614	0.336	0.103
-8	1.003	0.915	0.823	0.634	0.351	0.117
-7	1.006	0.917	0.833	0.648	0.368	0.131
-6	1.004	0.923	0.838	0.656	0.378	0.144
-5	1.007	0.927	0.847	0.662	0.388	0.149
-4	1.007	0.931	0.848	0.663	0.395	0.158
-3	1.009	0.934	0.852	0.661	0.408	0.17
-2	1.007	0.936	0.858	0.661	0.416	0.174
-1	1.002	0.936	0.862	0.657	0.414	0.176
0	1	0.941	0.861	0.657	0.41	0.179
1	1.002	0.936	0.862	0.657	0.414	0.176
2	1.007	0.936	0.858	0.661	0.416	0.174
3	1.009	0.934	0.852	0.661	0.408	0.17
4	1.007	0.931	0.848	0.663	0.395	0.158
5	1.007	0.927	0.847	0.662	0.388	0.149
6	1.004	0.923	0.838	0.656	0.378	0.144
7	1.006	0.917	0.833	0.648	0.368	0.131
8	1.003	0.915	0.823	0.634	0.351	0.117
9	0.991	0.916	0.815	0.614	0.336	0.103
10	0.993	0.909	0.804	0.585	0.319	0.079
11	0.987	0.902	0.779	0.557	0.284	0.054
11.4	0.983	0.897	0.768	0.543	0.269	0.041
11.8	0.972	0.888	0.753	0.526	0.253	0.028
12.2	0.913	0.875	0.735	0.506	0.235	0.021
12.6	0.752	0.839	0.705	0.48	0.22	0.016
13	0.569	0.749	0.643	0.441	0.199	0.006
13.4	0.456	0.617	0.54	0.376	0.152	0
13.8	0.376	0.5	0.432	0.288	0.077	0
14.2	0.29	0.413	0.349	0.194	0.017	0
14.6	0.29	0.413	0.275	0.111	0	0
15	0.29	0.413	0.211	0.072	0	0

IV. 考 察

의료에 있어서 방사선의 이용이 증가함에 따라 국제방사선방어위원회에서는 1955년에 최대허용선량(MPD)의 개념을 도입^{7,8)}하였으며 1977년에는 선량당량한도(dose equivalent limit)라는 새로운 개념을 도입하여 방사선방어의 정당화(justification), 최적화(optimization), 그리고 선량한도(dose limit)로 표현되는 선량제한체계(system of dose limitation)를 발표하였고⁹⁾ 1990년에는 피폭에 따라 생기는 detriment을 설정하여 이 detriment을 수용할 것인지의 여부를 판단하여 방사선피폭의 기준을 설정하였다.^{1,11)} 이는 보다 엄격한 피폭의 제한을 위하여 기존의 선량제한 체계를 방사선방어체계(system of radiological protection)로 변경함과 동시에 의료피폭의 범위를 확대시켰고 피폭의 제한을 위하여 선량구속치(dose constraint)를 도입하였으며 선량당량의 개념을 등가선량과 실효선량으로 개칭함과 동시에 조직의 하중계수를 세분화 시켰다.²⁾ 그러므로 아무리 의료피폭이 정당화된다고 하더라도 환자의 방사선피폭을 경감시키기 위한 노력과 연구개발을 게을리하여서는 안되겠다.

진단방사선 영역에서 피폭선량을 좌우하는 요소로서 방사선 장치적요인, 방사선 종사자의 기술적요인 등을 들 수 있으나 가장 큰 요인은 기술적요인임은 틀림이 없다. 즉 관전압, 관전류, 조사시간, 조사거리 등 촬영조건을 변화시키므로서 피폭선량을 감소시킬 수 있으리라 사료된다.

1994년 高田 등¹⁰⁾의 실험에 의하면 관전압의 증가에 따라 표면선량도 증가하여 관전압 증가의 4~5배 증가를 보였고 본 실험 역시 표면선량이 관전압 증가의 약 3~4배의 증가를 보였다. 또한 거리의 증가에 따른 표면선량은 일정한 사진 농도를 유지시키기 위해서 mAs를 거리변화의 2승배 이상으로 증가시켜야하지만 표면선량은 반대로 감소하여 FFD 100 cm에서 96 mR이 FFD 200 cm에서는 75 mR으로 줄어 약 28%가 감소하였다. 이는 1991년 R. C. Kebart 등¹²⁾의 실험에서 FFD를 102 cm에서

128 cm으로 증가시켜 표면선량이 12.5% 감소한 것과 맥락을 같이하며, ICRP 16권¹³⁾의 거리변화에 따른 피부선량의 결과와도 일치한다. 이와같은 결과로 볼 때 방사선 장치의 용량과 시설이 허용된다면 거리를 증가시켜 촬영한다면 화질의 손상없이 피폭선량을 줄일 수 있으며 상의 왜곡도 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

피검자가 받은 피폭선량의 영향은 확률적영향과 비확률적영향으로 구분하는데 진단방사선 영역에서는 확률적영향이 문제가 되고 있으며 이들을 정량적으로 분석하기 위해서는 피폭선량의 기준을 피부선량이 아닌 적분선량으로 산출해야하는데 이를 위해서는 심부선량 백분율의 data가 필요하다. 본 실험에서 ion chamber를 이용한 결과치는 高田 등¹⁰⁾의 결과치와 약 3% 이내의 오차를 보였고 TLD를 이용한 data는 10 cm 이상의 깊이에서는 큰 오차가 나타났는데 이는 TLD 자체의 오차와 측정선량이 적은데서 오는 오차로 생각된다.

V. 結 論

1. 관전압에 따른 표면선량은 관전압의 증가에 따라 증가하는 것으로 나타나 관전압과 직선관계를 나타내므로 임의의 촬영시 그 관전압을 그림에서 읽어 그때의 표면선량을 구할 수 있으며 이는 다음 식으로서 표시하여 이용할 수 있다.

$$D = D_x \times \left(\frac{100}{100+d} \right)^2 \times \frac{mAs}{100}$$

D_x : 그래프에서 읽은 표면선량

$100+d$: 초점-표면간거리

mAs : 촬영시의 mAs 치

2. 거리변화에 따른 표면선량의 변화는 거리의 증가에 따라 같은 사진효과를 내기 위해서 선량(mAs)을 증가시켰음에도 불구하고 표면선량은 감소한 것으로 나타났다.

3. 심부선량은 깊이에 따라 감소하였으며 에너지가 증가할수록 그 감소율이 적은 것으로

나타났다.

4. OCR data는 조사야 끝부분에서의 선량이 중심부에 비해 감소한 것으로 나타났으며 또한 깊이가 깊을수록 그 차이가 심하게 나타났다.

진단방사선영역에서 피폭선량의 측정은 진단 정보의 비약적인 향상과 함께 시급히 해결해야 될 문제로서 본 실험에서의 표면선량과 심부선량의 data는 임상에서 이용함으로써 피검자의 피폭선량을 정량적으로 분석하여 방사선의 확률적영향의 예측을 가능케할 수 있으며 피폭선량 저감에 기초적 자료로 유용하다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. ICRP Publication 60, Recommendations of the ICRP, Annals of the ICRP, Pergamon Press, Oxford, 1990.
2. ICRP Publication 64, Protection from Potential Exposure; A Conceptual Frame Work, 1993.
3. 金昌均: 腹部 單純 X-線 檢査時 被檢者의 被曝線量에 對한 研究, 韓放技學誌 17(1), 49-54, 1994.
4. W. J. Meredith: The production of isodose curves and the calculation of energy absorption from standard depth dose data, BJR 17(195), 75-82, 1944.
5. W. V. Mayneord: Integral dose when the whole body is irradiated, BJR 17(197), 151-157, 1944.
6. C. W. Wilson: The quantity and quality of the radiations scattered within a medium irradiated by high voltage radiation, BJR 18(215), 344-355, 1945.P
7. ICRP Publication 1, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press, Oxford, 1959.
8. ICRP Publication 9, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press, Oxford, 1966.
9. ICRP Publication 26, Recommendations of the ICRP, Annals of the ICRP 1, Pergamon Press, Oxford, 1977.
10. 高田 義明 外: X線撮影領域での體內線量分布の測定, 日放技學誌, 41卷 5號, 524-529, 1994.
11. 放射연구 2 (2), 57-58. 1994.
12. Richard C. Kebart: Benefits of Increasing Focal Film Distance, Radiologic Technology, 62(6), 434-442, 1991.
13. ICRP Publication 16, Protection of the patient in x-ray diagnosis, 1969.