

# 흉부촬영에서 overdensity에 따른 overexposure rate를 아는 방법(II)

고려대학교 보건대학 · 일본 화학료법연구소병원\*  
김정민 · 허 준 · 하야시타로\*

- Abstract -

## A Study on Overexposure Rate according to Overdensity in Chest X-ray Radiography(II)

Jung Min Kim · Joon Huo · Taro Hayashi\*  
Junior College of Health Sciences, Korea University  
The Chemotherapeutic Institute Hospital, Japan\*

We have presented with the "A study on overexposure rate according to over-density in chest X-ray radiography(I)" last year.

In this report, We could calculate the entrance skin dose from chest X-ray film density : the formula  $I_0 = I_x/e^{-\mu x} \times mG$ , (mG is Bucky factor) was used to deliver the skin dose.

At that time, There was two problems that the Bucky factor from maker was not equal to field experience and the field size influenced on the Attenuation Rate.

The experiment of Bucky factor was done from film method and retried the Attenuation Rate of Acryle phantom according to Good & Poor geometry.

As the results, The Bucky factor from maker higher than in this experiments 30~40%.

The Attenuation Rate in good geometric condition brings about a little alteration compare with poor geometric condition.

In the field experiment, we could get the chest image with very low entrance skin radiation dose 29.3  $\mu$  Sv, especially with air gap methode, the entrance skin dose was detected 10  $\mu$  Sv.

### I. 서 론

작년 저자들은 흉부 X-선 필름의 폐야농도로부터 표면 피폭선량을 산출하는 방법에 대하여 발표한 바가 있다<sup>1)</sup>. 이 실험에서 흉부의 Overdensity film이 얼마 씩의 Overexposure가 되는가를 비교적 근사하게 산출 할 수 있었다. 이때 감약율을 실험으로 구하고 공식  $I_0 = I_x/e^{-\mu x}$ 에서 격자의 노출배수 mG를 곱하는 식으로부터 표면선량을 구하였다.

이 실험의 문제점으로는 격자의 노출배수가 제조회사로부터 제공된 데이터와 차이가 있어 과노출의 위험이 있다는 것과 조사야의 크기와 측정법에 따라 결과가 다

르게 나타나는 것이다. 제조회사로 부터 제공된 격자의 노출배수 데이터는 KS나 JIS에 규정된 대로 형광량계법으로 실험된 것이다. 형광량과 필름농도는 궁극적으로는 같은 것이지만 형광량계법으로 실험된 데이터를 이용하여 필름의 농도로부터 피폭선량을 역으로 계산할 경우에는 오차가 커질 위험이 있다. 따라서 격자비에 따른 노출배수를 필름법으로 구하여 오차를 줄이고 과피폭을 방지할 필요가 있다. 또한 좁은선속과 넓은선속, 산란선의 유무에 따라서도 환산된 최종의 피폭선량이 달라지므로 Good Geometry와 Poor Geometry에 있어서 조사야를 다르게 하여 감약율을 실험하여 비교하였다. 이와 같은 실험으로 최적의 이미지를 갖춘 흉부X선 사진을 상당히 저선량으로 촬영할 수 있었으므로 임상례와 함께 보고한다.

## II. 실험기구 및 재료

X 선 장치 : Shimadzu XHD 150R - 30

자동현상기 : Konica SRX - 501

선 량 계 : Victoreen 660 - SI

Screen/Film : SRO 1000/TMH

/SRH

/HA - 30

/HR - S30

/HR - C30

BX - III/UV - G

BX - III/RP - 1

BM - III/UV - G

BM - III/RP - 1

FS/UV - G

FS/RP - 1

GRIDS : Mitaya 8 : 1 34 Line/cm Focal Distance 180 cm

Mitaya 10 : 1 34 Line/cm Focal Distance 180 cm

Mitaya 12 : 1 34 Line/cm Focal Distance 180 cm

Mitaya 14 : 1 34 Line/cm Focal Distance 180 cm

Mitaya 16 : 1 34 Line/cm Focal Distance 180 cm

선질 : 145 kVp, with Cu 1.35 mm

145 kVp, with Cu 0.87mm

145 kVp, without Additional Filter

125 kVp, with Al 5 mm

125 kVp, without Additional Filter

100 kVp, without Additional Filter

80 kVp, without Additional Filter

60 kVp, without Additional Filter

## III. 실험방법

1) 흉부촬영에 실용적으로 이용되고 있는 격자비 8 : 1, 10 : 1, 12 : 1, 14 : 1, 16 : 1(grid density 34 line/cm)에 대하여 관전압 80 kVp, 100 kVp, 125 kVp(2선질), 145 kVp(3선질)에서 필름법에 의하여 노출배수를 구하였다. 6 cm, 8 cm, 10 cm의 아크릴 팬텀 전면 중앙에 10 × 10 mm<sup>3</sup> 납을 부착하고 농일 필름농도(D=1.6)의 관전압과 부가필터에 대하여 노출배수를 구하였다.

2) 투과율의 측정에 있어서 산란선의 포함여부가 최종 결과에 매우 크게 영향을 미친다. 아주 좁은 선속일 경우에는 이미 제공된 선흡수계수를 그대로 이용할 수 있지만 진단영역의 낮은 에너지에서와 조사야가 넓어지면 선흡수계수가 달라진다. 관전압 80 kVp, 100 kVp, 125 kVp(2선질), 145 kVp(3선질)에서 Good Geometry와 Poor Geo-

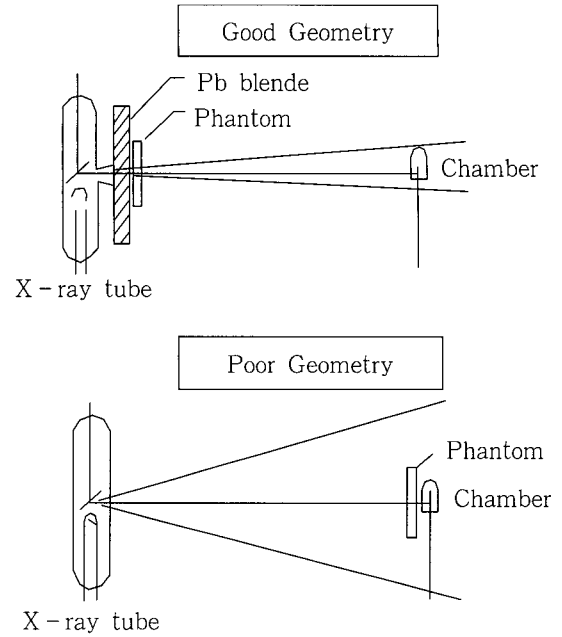


그림 1. Detection method of Good & Poor Geometry.

metry(그림 1)로 각각 조사야 6 × 6 cm<sup>2</sup>, 12 × 12 cm<sup>2</sup>에서 감약율과 선흡수계수를 구하였다. Air Gap법에 의해서도 감약율을 구하였다.

3) 임상례로서 위의 실험으로 구한 감약계수를 바탕으로 실제 인체를 촬영하고 계산된 피폭선량과 실제 측정된 피폭선량을 비교하였다. 최저선량을 구현하기 위하여 Air Gap법에 의해서도 촬영하고 피폭선량을 측정하였다.

## IV. 실험결과

1) 두께 6 cm, 8 cm, 10 cm의 아크릴 팬텀 전면 중앙에 10 × 10 × 10 mm<sup>3</sup> 납을 부착하고 농일 필름농도(D=1.6)에서 관전압과 부가필터에 대하여 노출배수를 구하였다. 격자비 8 : 1, 10 : 1, 12 : 1, 14 : 1, 16 : 1(grid density 34 line/cm)에 대하여 관전압 80 kVp, 100 kVp, 125 kVp(2선질), 145 kVp(3선질)에서 노출배수를 구한 결과는 표 1과 표 2에 나타난 바와 같다.

표에서 보는 바와 같이 80 kVp에서 8 : 1격자의 노출배수는 4.0으로 나타났으며 관전압이 증가하고 경선질이 될수록 2.9까지 감소하였다. 격자비가 높아질수록 노출배수는 커져 145 kVp no filter의 경우 8 : 1격자의 3.3으로 부터 16 : 1격자의 5.0까지 분포를 보이고 있다.

2) 관전압 80 kVp, 100 kVp, 125 kVp(2선질), 145 kVp(3선질)에서 Good Geometry와 Poor Geometry로 각각 조

표 1. Bucky Factor of Grids

TV Add Fil	80 kV		125 kV		145 kV
	F(-)	F(-)	Al 5.0 mm	Cu 1.35 mm	
Acryle : 8.0 cm G. 10 : 1	4.25	-	-	3.0	
Acryle : 6.0 cm G. 10 : 1	-	-	3.0	2.60	
G. 8 : 1	3.20	2.85	-	2.31	

Field size : 30 cm × 30 cm Acrylite 10 cm ≅ T of C 25 cm  
 Focus plate distance : 200 cm Acrylite 8 cm ≅ T of C 20 cm  
 Grid density : 34 ℓ/cm

표 2. The relationship between radiation quality and multiple of grid.

TV Add Fil	80 kV		100 kV		125 kV		145 kV	
	non	non	non	Al 5.0 mm	non	Cu 0.87 mm	Cu 1.35 mm	
Grid Ratio	non	non	non	mm	non	mm	mm	
8 : 1	4.0	3.73	3.35	3.28	3.30	3.03	2.90	
10 : 1	4.7	4.20	4.04	3.78	3.78	3.55	3.32	
12 : 1	-	-	4.59	4.18	4.15	3.75	3.65	
14 : 1	-	-	4.90	4.60	4.57	4.10	4.00	
16 : 1	-	-	-	5.00	5.00	4.35	4.23	

Measurement factors : Acrylite phantom(Thickness : 10 cm)  
 Field size : 30 cm × 30 cm  
 Focus plate distance : 200 cm  
 Grid density : 34 ℓ/cm

사야 6 × 6 cm<sup>2</sup>, 12 × 12 cm<sup>2</sup>에서 감약곡선은 그림 2~5와 같다. 이때의 선흡수계수는 표 3~4와 같다. 산란선을 포함하지 않는 Good Geometry의 경우 조사야의 크기에 따른 감약율의 차이가 적은 반면 산란선의 영향을 고려한 Poor Geometry의 경우에 있어서는 조사야의 크기에 따른 감약율의 차이가 커짐을 알 수가 있다. 실제촬영의 경우는 Poor Geometry 상황에 가까우므로 조사야의 크기에 따라 감약율의 차이가 커져 필름농도의 변화가 크게됨을 유념하여야 할 것이다.

Air Gap법에 의한 감약율곡선은 그림 6과 같다. Air Gap법에 의한 감약율곡선은 Air Gap의 거리에 따라 초기에 급격한 감약율 감소가 있으나 Air Gap이 30cm이 넘을 경우에는 감약율감소가 적어졌다.

3) 사진 ①~⑥까지는 두께 23 cm 환자의 흉부 단순 촬영사진이며 관전압 140 kVp~80 kVp에서 선질에 따른

표 3. The Effective Attenuation Coefficient and Attenuation Rate of Acylite.

Measurement Method : Good Geometry

Field size : 6 × 6 cm

	Effective Attenuation coefficient $\mu_{eff}$	Attenuation Rate		
		10 cm	8 cm	6 cm
145 kV Cu 1.35 mm Cu 0.87 mm without Add Filt	0.21 cm <sup>-1</sup> 0.22 cm <sup>-1</sup> 0.272 cm <sup>-1</sup>	0.12 0.109 0.079	0.185 0.173 0.125	0.278 0.264 0.206
125 kV Al 5.0 mm without Add Filt	0.244 cm <sup>-1</sup> 0.289 cm <sup>-1</sup>	0.085 0.068	0.137 0.114	0.225 0.191
100 kV without Add Filt	0.295 cm <sup>-1</sup>	0.056	0.099	0.175
80 kV without Add Filt	0.314 cm <sup>-1</sup>	0.048	0.088	0.161
60 kV without Add Filt	0.347 cm <sup>-1</sup>	0.035	0.07	0.130

Field size : 12 × 12 cm

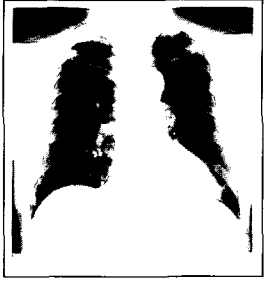
	Effective Attenuation coefficient $\mu_{eff}$	Attenuation Rate		
		10 cm	8 cm	6 cm
145 kV Cu 1.35 mm Cu 0.87 mm without Add Filt	0.207 cm <sup>-1</sup> 0.222 cm <sup>-1</sup> 0.271 cm <sup>-1</sup>	0.111 0.103 0.069	0.177 0.162 0.117	0.278 0.255 0.20
125 kV Al 5.0 mm without Add Filt	0.244 cm <sup>-1</sup> 0.294 cm <sup>-1</sup>	0.081 0.065	0.134 0.113	0.220 0.191
100 kV without Add Filt	0.295 cm <sup>-1</sup>	0.056	0.10	0.178
80 kV without Add Filt	0.315 cm <sup>-1</sup>	0.049	0.09	0.162
60 kV without Add Filt	0.33 cm <sup>-1</sup>	0.034	0.069	0.136

피폭선량을 계산치와 함께 실험치를 나타내었다. 이때 계산치는 Poor Geometry의 실험 배치에 의한 감약계수를 적용하였고 넓은 선속에 의한 데이터가 90% 이상 근사하며 오차가 작아 실용적으로 적용이 가능하다.

피폭선량은 입사 피부선량으로 140 kVp에서 29.3  $\mu$  Sv로 상당히 적은 선량이며 Air Gap에서는 10  $\mu$  Sv로 초저선량으로 촬영이 가능하다.



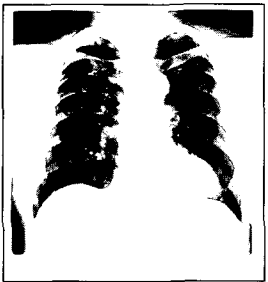
① Thickness : 23 cm  
 140 kV  
 200 cm × 0.01 sec  
 G - 12 : 1  
 Cu 1.3 + Al 1.0 mm  
 SRO 1000/SRH  
 C = 48,26 μ Sv (6 × 6)  
 M = 29,3 μ Sv



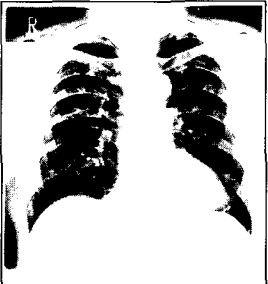
② Thickness : 23 cm  
 120 kVp  
 200 cm × 0.025 sec  
 G - 12 : 1  
 5.0 mm Al  
 SRO 250/HR - S 30  
 C = 248,2 μ Sv (12 × 12)  
 387 μ Sv (6 × 6)  
 M = 225,8 μ Sv (91%)



③ 80 kV  
 200 cm × 0.03 sec  
 F(-) G - 12 : 1  
 BX - III/ RP - 1  
 C = 502,6 μ Sv (12 × 12)  
 923 μ Sv (6 × 6)  
 M = 318 μ Sv (63%)



④ 80 kV  
 200 cm × 0.016 sec  
 F(-) G(-)  
 BX - III/ RP - 1  
 C = 120,4 μ Sv (12 × 12)  
 212,96 μ Sv (6 × 6)  
 M = 103,6 μ Sv (86%)



⑤ T = 23 cm  
 120 kV  
 200 cm × 0.016 sec  
 F(-) G - 12 : 1  
 C = 348,27 Sv (12 × 12)  
 534,5 μ Sv (6 × 6)  
 M = 276,75 μ Sv (80%)



⑥ Air gap  
 T = 23 cm  
 C = 10,7 μ Sv (6 × 6)  
 21,6 μ Sv (Good Geometry)  
 M = 10 μ Sv (93%)

#### 표 4. The Effective Attenuation Coefficient and Attenuation Rate of Acrylite.

Measurement Method : poor Geometry

Field size : 6 × 6 cm

	Effective Attenuation coefficient $\mu_{eff}$	Attenuation Rate		
		10 cm	8 cm	6 cm
145 kV Cu 1.35 mm Cu 0.87 mm without Add Filt	0.1414 $cm^{-1}$	0.208	0.292	0.42
	0.154 $cm^{-1}$	0.195	0.275	0.395
	0.1899 $cm^{-1}$	0.135	0.208	0.314
125 kV Al 5.0 mm without Add Filt	0.171 $cm^{-1}$	0.155	0.232	0.345
	0.201 $cm^{-1}$	0.116	0.182	0.282
100 kV without Add Filt	0.2166 $cm^{-1}$	0.106	0.168	0.265
80 kV without Add Filt	0.242 $cm^{-1}$	0.138	0.138	0.23
60 kV without Add Filt	0.063 $cm^{-1}$	0.11	0.11	0.194

Field size : 12 × 12 cm

	Effective Attenuation coefficient $\mu_{eff}$	Attenuation Rate		
		10 cm	8 cm	6 cm
145 kV Cu 1.35 mm Cu 0.87 mm without Add Filt	0.09625 $cm^{-1}$	0.339	0.451	0.58
	0.10282 $cm^{-1}$	0.316	0.423	0.551
	0.1429 $cm^{-1}$	0.203	0.291	0.413
125 kV Al 5.0 mm without Add Filt	0.12265 $cm^{-1}$	0.244	0.342	0.471
	0.154 $cm^{-1}$	0.188	0.271	0.392
100 kV without Add Filt	0.1597 $cm^{-1}$	0.173	0.258	0.38
80 kV without Add Filt	0.1791 $cm^{-1}$	0.138	0.213	0.324
60 kV without Add Filt	0.2069 $cm^{-1}$	0.10	0.164	0.269

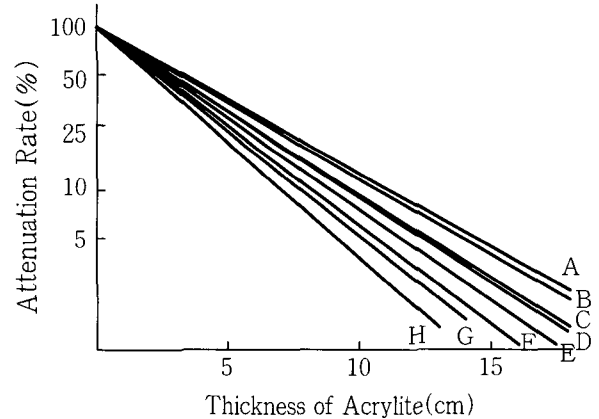


그림 2. The Attenuation curves of Acrylite in the Geometry (field size : 6 × 6 cm<sup>2</sup>).

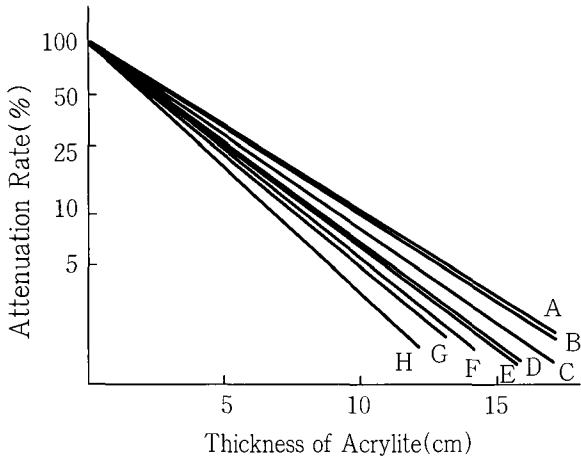


그림 3. The Attenuation curves of Acrylite in the Good Geometry (field size :  $12 \times 12 \text{ cm}^2$ ).

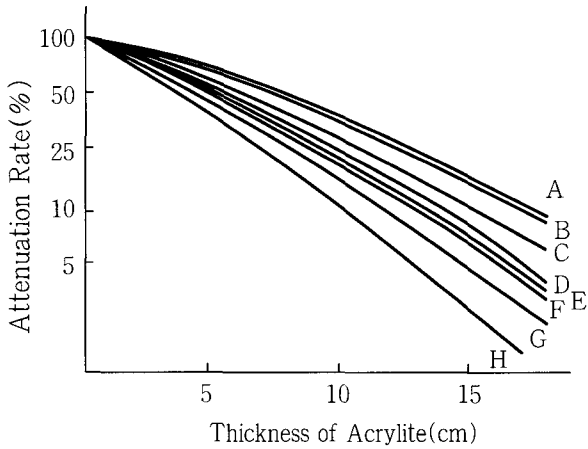


그림 4. The Attenuation curves of Acrylite in the Poor Geometry (field size :  $12 \times 12 \text{ cm}^2$ ).

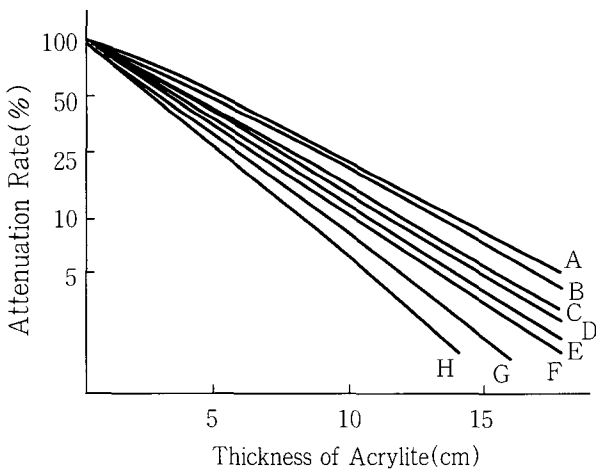


그림 5. The Attenuation curves of Acrylite in the Poor Geometry (field size :  $6 \times 6 \text{ cm}^2$ ).

\*그림 2~5

- A : 145 kV with Cu 1.35 mm
- B : 145 kV with Cu 0.87 mm
- C : 145 kV without Additional Filter
- D : 125 kV with Al 5.0 mm
- E : 125 kV without Additional Filter
- F : 100 kV without Additional Filter
- G : 80 kV without Additional Filter
- H : 60 kV without Additional Filter

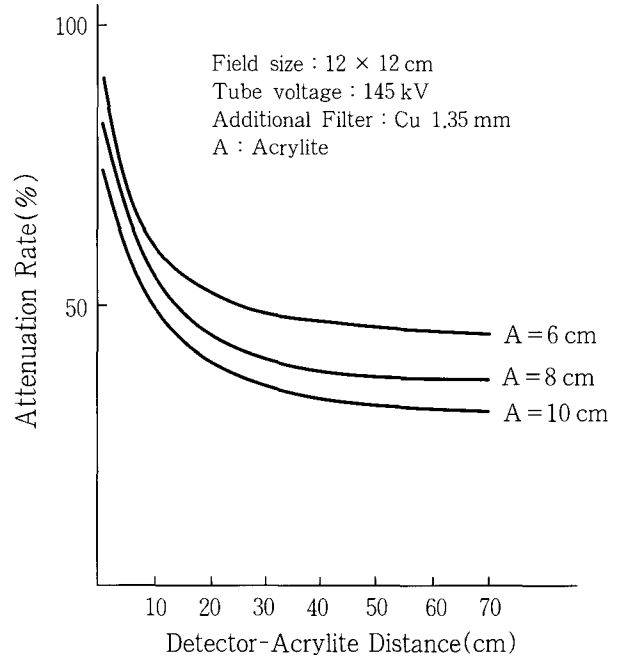


그림 6. The relationship between Thickness of Acrylite and Detector - Acrylite Distance.

## V. 고찰

X선격자의 노출배수 B는 동일한 사진효과를 내기 위해 그리드를 사용했을 경우와 사용하지 않았을 때의 선량비로 나타낸다. 이것은 또한 전체 X선 투과율(Tt)의 역수로 나타낼 수 있다. 즉 격자를 쓸 경우 격자를 쓰지 않았을 때보다 몇 배의 X선 노출이 필요한가를 나타내는 지수로서 필름농도와 피폭선량에 직접적 영향을 미친다.

$$B = \frac{I_t}{I'_t} = \frac{1}{T_t}$$

여기서,  $I_t$  : 그리드를 사용하지 않았을 때의 전체 X선량

$I'_t$  : 그리드를 사용할 때의 전체 X선량

노출배수는 피사체의 유무, 종류 및 관전압(X선 선질) 등에 의해 변한다. 또한 그리드를 사용하지 않았을 때의 관전류량을  $Q_2 = B \times Q_1$ 이 되고 또한 기존에 사용하던 그리드의 노출배수를  $B_1$ , 새로운 그리드의 노출배수를  $B_2$ 라 하고 그때의 관전류량을  $Q_2$ 라 하면

$$Q_2 = \frac{B_2}{B_1} \cdot Q_1 \text{가 된다.}$$

격자비와 노출배수와는 반드시 상관하지는 않으며, 일반적으로 노출배수의 허용치는 표시치의  $\pm 5\%$ 로 규정되어 있다<sup>2)</sup>. 노출배수는 일차선투과율과 유사하지만 일차선투과율은 격자에 의해 흡수된 일차선의 양을 나타내는데 반하여 노출배수는 일차선과 이차선의 흡수량을 표시하는 점이 다르다. X선조사야를 크게 하고 물켄텀을 놓은 후 격자를 사용했을 때의 투과 형광량을 측정하고 다음에 격자를 사용하지 않을 때의 입사 형광량을 측정한 후 계산한다. 노출배수는 격자에 의해 흡수된 방사선 총량을 측정하는 것이어서 격자의 산란선 흡수능력을 평가할 수 있다. 통상 격자비가 높은 것일 수록 산란선흡수와 노출배수가 높다. 동일한 격자일지라도 노출배수는 일정하지 않고 X선속의 에너지에 따라 달라진다<sup>3)</sup>.

화질측면에서 볼 때는 격자비가 높을수록 권유할 만 하지만 X선 노출조건과 피폭선량 등 두 측면에서는 탐탁하지 않은 점이 있다. 즉 격자비가 높으면 노출조건이 증가할 뿐 아니라 환자의 피폭선량도 증가한다는 점이다. 만일 격자의 격자비가 5라면 노출조건과 환자피폭선량도 격자를 사용하지 않는 동일검사 때보다 5배로 증가한다.

그리드의 특성에 있어서 콘트라스트 개선도와 격자비와는 이율배반적 관계가 있어서 특정촬영부위와 촬영조건에서 사용해야하는 격자비에 대한 정설이 없기 때문에 일종의 타협과 경험적 결정이 필요하다. 예를 들어 8:1과 10:1 격자에 있어서 노출배수는 16% 증가하지만 콘트라스트 개선도는 14% 증가한다. 또 14:1과 16:1에 있어서는 노출배수가 9% 증가하고 콘트라스트 개선도는 7% 증가한다<sup>4)</sup>.

격자의 노출배수는 JIS, KS 등에 형광량계를 이용하여 구하도록 규정되어 있으며 격자의 제조회사에 제시된 격자의 노출배수 역시 형광량계법으로 실험된 데이터이다. 표 5에 형광량계법으로 실험된 노출배수와 필름법으로 시험한 데이터를 비교하였다. 형광량계법으로 실험하여 제조회사로부터 제공된 노출배수데이터가 격자비별로 30~40% 가량 높아 over exposure의 위험이 있다. 적절한 농도보정과 과노출을 피하기 위하여 각각의 촬영시설에서 사용하고 있는 격자의 정확한 노출배수를 실험해 둘 필요가 있다고 생각한다.

감약율 또는 반가층 실험을 위한 기하학적 배치는 good geometry방법과 poor geometry방법이 있다. 본 실험에서는 poor geometry로 하여 산란선에 의한 영향을 고려하였다. poor geometry란 산란선이 포함된 방사선의 선질을 측정할 경우에 추천되는 방법으로 부가필터 등을 챔버에 가깝게 배치하여 측정하는 방법을 말한다. 그리고 조사면적을  $6 \times 6 \text{ cm}^2$ 과  $12 \times 12 \text{ cm}^2$ 로 하였으며 good geometry의 경우에는 조사면적의 차이에 의한 감약계수변동이 작았으나 poor geometry의 경우에는 조사면적에 의한 감약계수 차이가 커짐을 알 수가 있었다.

실제 임상에 사용되는  $30 \times 30 \text{ cm}^2$  정도의 조사면적에

표 5. Comparison of Bucky Factor at 125 kVp

	JIS法(螢光量)	Film法
8 : 1(34Lin/mm)	4.26	3.35
10 : 1	5.15	4.04
12 : 1	6.10	4.59
14 : 1	7.00	4.9

서는 그 차이가 더욱 커질것으로 여겨지며 각각의 조사면적에 대한 감약계수를 알게되면 임상적으로 매우 편리하게 이용할 수 있을 것이다. 임상례에서 계산에 의한 데이터(C)와 이온챔버에 의한 실제측정치의 관계(M)는 대부분의 경우 90%를 상회하여 전회의 발표보다 정확도가 향상하였다. 이러한 여러 가지 노력은 물론 적정화질을 유지하면서 보다 적은 피폭선량으로 촬영하기 위한 것이다. National Radiological Protection Board(NRPB)의 R200에서 20개 병원의 흉부정면촬영의 평균피폭선량은 0.2 mGy이며<sup>5)</sup>, 1998년 대한민국 수도권 100개 병원의 흉부정면촬영의 평균치는 0.44 mSv이고<sup>6)</sup>, 1997년 부산지역의 평균조사선량은  $371 \pm 181 \mu \text{ Sv}$ 으로<sup>7)</sup> 조사되어 있다. IAEA BSS 1994/9에 의하면 성인 흉부촬영시의 피폭량 가이던스레벨은 0.4 mGy로서<sup>8)</sup> 우리나라의 평균선량은 IAEA 가이던스레벨을 약간 상회하는 정도이며 영국은 우리나라의 1/2 정도이다. 임상례에서 제시한 바와 같이 저자들의 통상적 촬영방법에 의한 피부선량은  $29.3 \mu \text{ Sv}$ 로 IAEA 가이던스레벨의 1/13이고 우리나라평균의 1/15에 해당하고 있다. 특히 거의 쓰이지 않는 촬영방법이기는 하지만 Air Gap법으로는 IAEA 가이던스레벨의 1/40의 선량으로 촬영이 가능하다.

## VI. 결 론

지난해 발표한 “흉부촬영에서 Overdensity에 따른 Over-exposure Rate를 아는 방법(I)”에서 나타난 격자의 노출배수에 대한 문제점과 기하학적배치에 따른 감약계수 차이에 따른 실험과 임상례의 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 격자의 노출배수가 제조회사로부터 제공된 데이터와 차이가 있어 과노출의 위험이 있으며 형광량계법으로 실험된 제조회사의 노출배수는 필름법으로 실험한 본 연구에 비하여 격자비별로 30~40%가량 높다.
2. 산란선과 감약계수의 관계에 있어서 good geometry의 기하학적배치로는 조사면적의 차이에 의한 감약계수변동이 작았으나 poor geometry의 경우에는 조사면적에 의한 감약계수 차이가 커짐을 알 수가 있었다.
3. 임상례로서 피폭선량 계산치와 이온챔버에 의한 실

제측정치의 관계는 90%를 상회하여 전회의 발표보다 정확도가 향상하였으며 우리나라 평균피폭선량의 1/15로도 흉부정면촬영을 할 수 있음을 확인하였다.

### 참 고 문 헌

1. 김정민의 : 흉부촬영에서 Overdensity에 따른 Overexposure Rate를 아는 방법( I ), 대한방사선기술학회지 Vol 22, No 1, 13~20, 1999.
2. 김정민의 : 방사선화상정보학, 233~234, 신광출판사, 2000.
3. 김건중 : 진단방사선원리, 153~154, 대학서림, 1999.
4. 飯田 昇 : X線 グリッドのやさし理解, 23~32, 三田屋商事(株), 2000.
5. 김건중 : 환자의 피폭현황과 대책, KRTA.or.kr.
6. 김성수 : X선촬영조건에 따른 피폭선량조사연구, 대한방사선기술학회지 Vol 21, No 2, 19~25, 1998.
7. 전성오 : 부산지역 의료기관의 흉부촬영조건과 피폭선량에 관한 조사연구, 대한방사선기술학회지 Vol 20, No 2, 49~55, 1997.
8. 草間 朋子 : 放射線防禦Q&A, 50~55, 의료과학사, 1996.