

# X선 진단시 피폭선량을 반으로 줄이기 위한 Cu Filter의 두께

고려대학교 보건대학 방사선과 · 가천길대학 방사선과\*  
김정민 · 김성철\*

- Abstract -

## The thickness of Cu Filter to reduce 1/2 of the patient dose

Jung Min Kim · Sung Chul Kim\*  
College of Health Sciences, Korea University  
Ga Chun Gil College\*

Medical X-ray examination are increased double for the last 6~8 years. Therefore a patient exposure dose should be decrease half every 7 years.

We made an experiment on copper filter thickness to decrease a patient exposure dose up to half and compared to the Image quality by MTF.

The results as follow

1. A thin region like extremities needs a thicker Cu filter as compared a thick region.
2. 1/2 reduction filter must be thicker when kVp increase.
3. Exposure factor should be increas when using 1/2 reduction filter : extremity is 4.0 times, chest 2.9 times, skull 1.62 times, and abdomen 1.58 times
4. The MTF of using 1/2 reduction filter is lower than without filter. But no difference of visual image..
5. 1/2 reduction filter compared with double speed screen showed almost same image quality.

## I. 서 론

의료용 방사선의 대표적인 X선검사는 세계적으로 연간 5~15%씩 증가하고 있다. 이러한 증가율로 계산하면 6~8년마다 약 2배의 증가를 이루게 되므로 국민의 의료피폭을 현재 상태로 현상유지하기 위해서는 약 7년마다 한 검사당 노출되는 피폭선량을 반감시킬 필요가 있다<sup>1)</sup>. 또한 우리나라의 피폭선량은 가까운 일본과 비교하여 약 2배 정도 높다는 조사결과가 있다<sup>2)</sup>. X선 광자에너지는 연속스펙트럼으로 인체투과도가 적은 저 에너지성분을 많이 포함하고 있다. 이 저에너지 광자를 필터로 제거하여 피폭선량을 줄일 수 있다는 사실은 새삼스러운 이야기 가 아니다. 일반촬영용 X선 장치는 총여과가 2.5mmAl당량 이상으로 규정되어 있다<sup>3)</sup>. 그러나 이 정도의 필터로는 피폭선량을 대폭적으로 줄일 수 없어 더욱 두꺼운 부가여과를 하거나 수광계의 감도를 올리고 있다. 저자들은 2002년까지 X선검사에 의한 피폭선량을 1/2로 줄이고자하는 목표를 스스로 정하였다. 그 방법으로 부가필터를 부착하

는 방법과 수광계의 감도를 배가시키는 방법이 있겠으나 모든 수광체를 교체하는 비용과 수고보다는 부가여과를 사용하여 간편하게 피폭선량을 반감시키는 방법을 택하였다. 부가여과의 재료로는 알루미늄이 가장 널리 사용되고 있으며 구리, 주석 등도 쓰인다. 그 밖의 여러 가지 물질로 만들어진 부가필터가 있으나 실용화하는 데는 문제가 있다. 피폭선량을 반으로 줄이는 필터를 알루미늄으로 할 경우 두께가 너무 두꺼워져 사용하기 불편하기 때문에 알루미늄보다 보다 흡수력이 20배 이상 되는 구리필터가 편리하고 효과적이라고 판단하였다. 따라서 각 촬영부위별로 피폭선량을 반감시키는 구리필터(반감필터라 하자)의 두께를 실험으로 구하고 선량을 반감시키는데 따른 화질의 변화를 MTF로 검토하였다. 또한 증감지의 감도를 2배 올려 피폭선량을 반으로 줄일 경우와 부가필터로 피폭선량을 반감시킬 경우의 화질변화에 대하여서도 비교하였다. 이 실험데이터가 우리가 목표한대로 X선검사의 피폭선량을 반으로 줄이는데 기여하기를 바라면서 학회에 보고한다.

## II. 사용기기 및 재료

X-ray equipment : DXG-325R  
 X-ray equipment analyzer : Dynallyzer III  
 형광량계 : F- II (Alco co.)  
 선량계 : Reader : Radcal 2026  
 Chamber : 20×5-60 (Volume : 60 cc)  
 Micro Densitometer : PDA-7(konica)  
 apparatus size - 300×25 μm  
 Reading speed - 0.5 mm/sec  
 Recorder : R-61KZ  
 해상력 차트 : M-1W 100R  
 증감지 : G-4, G-8(Fuji co.)  
 흡수체 : Acryl 30×30×20 cm  
 격자 : 8 : 1, 103 lines/inch

## III. 실험방법

### 1. 피사체 두께와 관전압에 따른 반감필터의 두께를 알기 위한 실험

- 1) 실험에 앞서 Dynallyzer III를 이용하여 장치의 관전압, 관전류, 조사시간의 정확도를 ±3% 이내로 교정하였다.
- 2) 그림 1과 같이 FFD 100 cm에서 Cu여과판을 증가시키며, 선량 및 형광량을 동시에 측정하였다.  
 관전압을 50, 60, 80, 100, 120 kVp로 변화시키며 이때 조사야는 30×30 cm<sup>2</sup>로 하였다.
- 3) 피사체 표면 입사선량은 후방산란선의 영향을 줄이기 위해 피사체로부터 20 cm 공간을 두고 측정할 후 거리자승의 법칙으로 환산하였다.

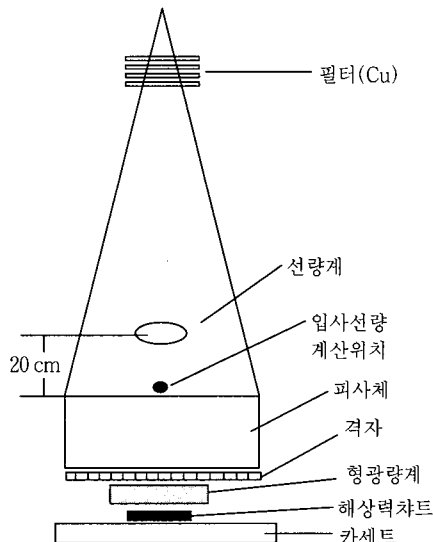


그림 1. 반감필터의 두께를 구하기 위한 실험의 배치

4) 측정된 값으로부터 피부입사선량/형광량비(SD/F)를 구하여 SD/F의 감약곡선을 작성하였다.

5) SD/F가 50% 감약되는 여과판의 두께를 구하고, 그 여과판 두께에서 여과판이 없을 때와 동일농도를 내기 위한 mAs값을 구하였다.

### 2. 반감필터 사용시 화질의 변화를 알기 위한 실험

- 1) 임상 촬영부위별로 사지를 5 cm 아크릴로 가정하여 50 kVp로 촬영하였다. 마찬가지로 복부를 20 cm 아크릴에 70 kVp촬영, 두부를 18 cm 아크릴에 80 kVp촬영, 흉부를 10 cm 아크릴에 120 kVp촬영하여 농도 1.0 + fog를 내기 위한 농도곡선 작성하고 그때의 형광량을 구하였다.
- 2) 실험방법 1과 같은 방법으로 각 부위별 피부입사선량을 1/2로 줄이는 여과판의 두께를 구하였다.
- 3) 구해진 여과판의 두께에서 각 부위별 농도 1.0 + base농도를 내기 위한 mAs량을 구하였다.
- 4) 각 조건별로 no filter시와 반감필터 사용시 화질을 비교하기 위하여 물리적 화질 비교는 MTF로, 시각적 화질 비교는 두개골팬텀을 사용하였다.

### 3. 반감필터를 사용했을 경우와 2배감도 증감지를 사용했을 경우의 화질비교실험

관전압 80 kVp, 18 cm 아크릴을 사용하고 반감필터를 사용할 경우와 2배감도 증감지를 사용 할 경우 MTF 측정과 함께 두개골 팬텀을 촬영하여 화질을 비교하였다.

## IV. 실험결과

### 1. 피사체 두께와 관전압에 따른 반감필터의 두께를 알기 위한 실험의 결과

피사체 두께와 관전압에 따른 반감필터의 두께를 알기 위한 실험의 결과는 표 1과 그림 2에서 보는 바와 같다. 관전압 60 kVp에서 아크릴 두께가 10 cm일 경우 피부입사선량을 반으로 줄일 수 있는 반감필터의 두께는 0.15 mmCu, 아크릴 20 cm의 경우에는 0.13 mmCu이다.

주목할 결과로 피사체가 두꺼운 경우(20 cm) 관전압상승에 따른 반감필터의 두께는 크게 증가하지 않으나 피사체가 얇을 경우(10 cm)관전압이 증가하면 반감필터의 두께는 크게 상승하는 것으로 나타났다. 즉, 낮은 관전압에서는 피사체두께가 변화하여도 반감필터 두께차이가 크지 않으나 관전압이 상승하면 피사체 두께가 10 cm로 얇을 경우와 20 cm로 두꺼울 경우, 반감필터의 두께는 100 kVp에서 각각 0.3 mmCu와 0.18 mmCu이며 120 kv에서는 0.70 mmCu와 0.25 mmCu로 나타나 피사체 두께차이에 의한 반감필터두께 차이가 커지며 두꺼운 피사체일

표 1. 피사체와 관전압에 따른 반감여과관의 두께

피사체 : 아크릴, 필터두께 : mmCu

관전압(kVp) \ 피사체(cm)	50	60	80	100	120
10 cm	0.12	0.15	0.18	0.30	0.70
20 cm	0.10	0.13	0.15	0.18	0.25

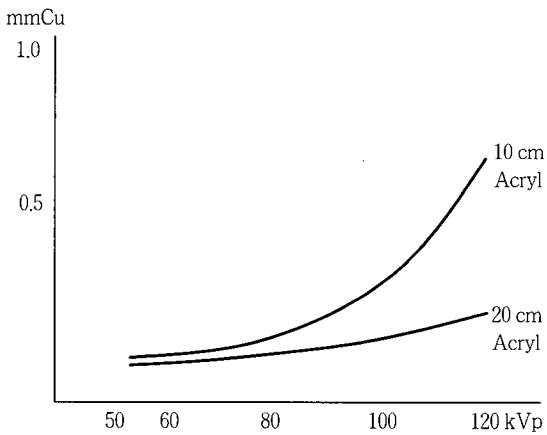


그림 2. 피사체와 관전압에 따른 반감필터의 두께변화

수록 얇은 여과관을 사용하여도 선량 반감효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

## 2. 반감필터 사용시 화질의 변화를 알기 위한 실험의 결과

반감필터 사용시 화질의 변화를 알기 위하여 MTF곡선을 작성한 결과는 표 2와 같다. 사지에 해당하는 60 kVp, 5 cm Acryl에서는 반감필터를 사용하지 전과 사용했을 때의 MTF값은 주파수 1.0 lp/mm에서 0.54에서 0.45로 감소하였으며, 주파수 2.0 lp/mm 에서는 0.29에서 0.24로 감소하였다. 그리고 두꺼운 부위인 복부(70 kVp, 20 cm Acryl)에서는 주파수 1.0 lp/mm에서 0.69에서 0.56으로, 주파수 2.0 lp/mm에서는 0.28에서 0.21로 저하되어 전체적으로 반감필터를 사용할 경우 화질이 낮아짐을 알 수 있으나 그 차이가 미미하며 실제 팬텀을 촬영하여 비교한 결과 큰 차이를 발견할 수 없었다.

표 2. 반감필터사용에 의한 MTF

공간주파수	관전압(kVp)				
	60	70	80	120	
1.0 lp/mm	no Filter	0.54	0.69	0.67	0.65
	1/2 Filter	0.45	0.56	0.53	0.57
2.0 lp/mm	no Filter	0.29	0.28	0.29	0.23
	1/2 Filter	0.24	0.21	0.22	0.21

표 3. 촬영부위별 반감필터의 두께 및 부하증가배수

구분	피사체 부위 (Acryl 두께)	사 지 (5 cm)	흉 부 (10 cm)	두 부 (18 cm)	복 부 (20 cm)
	관전압(kVp)		60	120	80
mAs	no Filter	3.3	3.3	25	40
	1/2 Filter	13.3	8.3	40	60
선량(mR)	no Filter	6.07	6.68	104.2	106.5
	1/2 Filter	2.6	2.9	41	53
반감필터 두께(mmCu)		0.24	0.53	0.14	0.12
반감필터 사용에 의한 부하증가배수		4.00	2.9	1.62	1.58

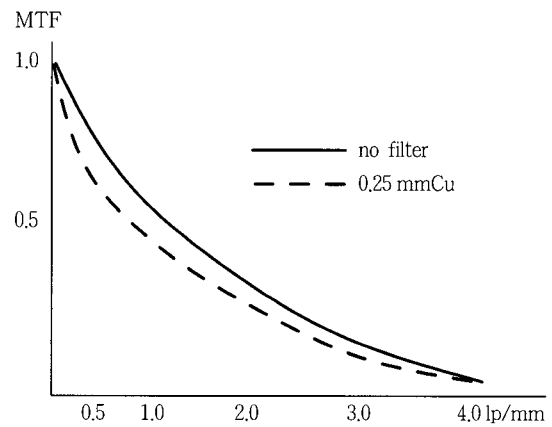


그림 3. 사지촬영에서 반감필터를 사용할 경우의 MTF 60 kVp, 아크릴 5 cm, 반감필터 0.24 mmCu

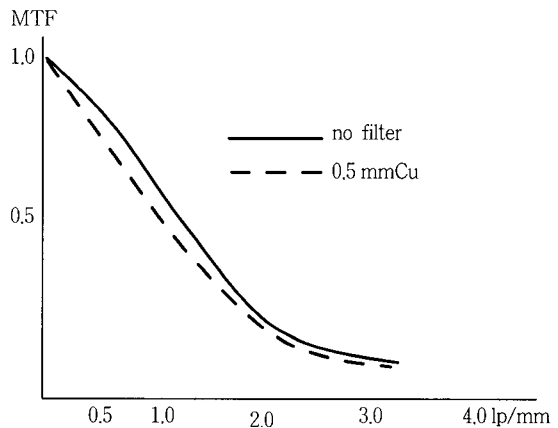


그림 4. 흉부촬영에서 반감필터를 사용할 경우의 화질 비교 (120 kVp, 아크릴 10 cm, 반감필터 0.51 mmCu)

촬영부위별로 반감필터의 두께 및 노출배수를 알기 위하여 아크릴팬텀의 두께를 변화시켜 각 촬영부위별로 사지, 흉부 두부, 복부로 가정하고 그에 따른 일반적인 관전압으로 촬영한 결과 표 3과 같은 결과를 얻었다. 사지의 경우 반감필터의 두께는 0.24 mmCu이며 흉부는 0.53 mmCu, 두부는 0.14 mmCu이며 복부의 경우에는 0.12 mmCu이다.

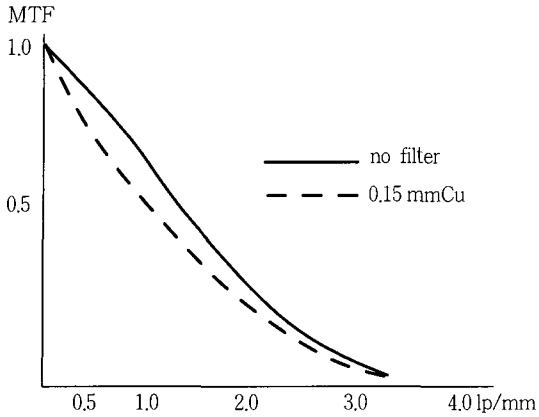


그림 5. 두부촬영에서 반감필터를 사용할 경우의 화질 비교 (80 kVp, 아크릴 18 cm, 반감필터 0.14 mmCu)

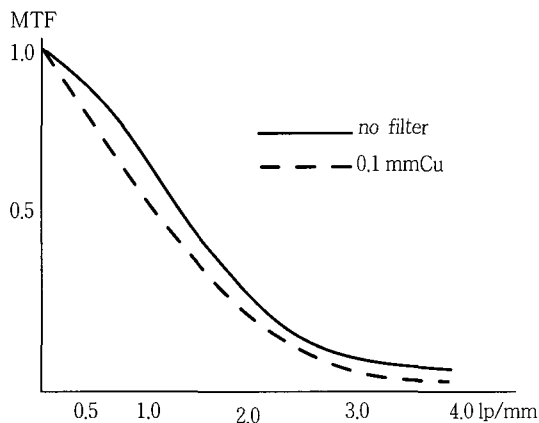


그림 6. 복부촬영에서 반감필터를 사용할 경우의 화질 비교 (70 kVp, 아크릴 20 cm, 반감필터 0.12 mmCu)

반감필터를 사용할 경우에 증가시켜야하는 장치의 부하증가율(노출배수)은 사지가 4.0배로 가장 노출증가가 컸고 흉부가 2.9배, 두부가 1.62배이며 복부가 1.58배가 되는 것으로 나타났다.

### 3. 반감필터를 사용했을 경우와 2배감도 증감지를 사용했을 경우의 화질비교 실험의 결과

반감필터를 사용했을 경우와 2배감도 증감지를 사용했을 경우의 MTF 비교결과는 표 4, 그림 9와 같다.

주파수 1.0 lp/mm에서 G-4/no Filter의 MTF는 0.67, G-8/no Filter의 MTF는 0.55, 반감필터 사용시의 MTF는 0.53으로 나타났으며, 주파수 2.0 lp/mm에서는 G-4/no Filter의 MTF는 0.29, G-8/no Filter의 MTF는 0.21, 반감필터 사용시의 MTF는 0.22으로 나타났다. 증감지의 감도를 배가하거나 반감필터를 사용할 경우에는 화질이 분명히 저하하고 있으나 2배 감도의 증감지와 반감필터 사용시의 화질은 거의 동일하다.

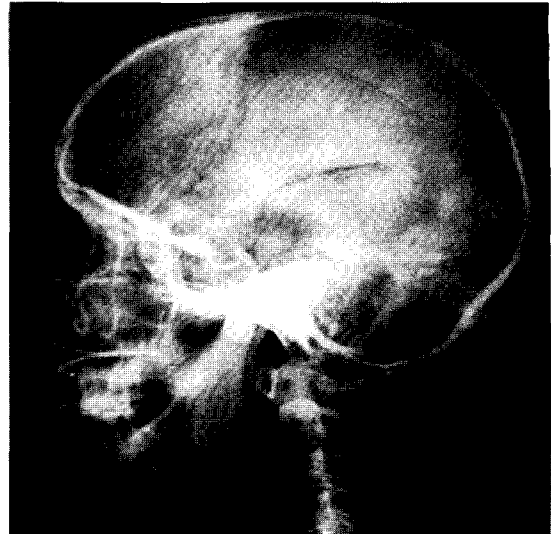


그림 7. 두부팬텀의 no filter 사진 (80 kVp, 25 mAs, 두께 18 cm, 104.2 mR)



그림 8. 두부팬텀의 반감필터를 부가한 사진 (80 kVp, 40 mAs, 두께 18 cm, 41 mR)

## V. 고 찰

X선검사의 증가율이 7년마다 약 2배 증가하게 되므로 국민의 의료피폭을 현재 상태로 유지하기 위해서는 7년마다 1 검사당 노출되는 피폭선량을 반감시킬 필요가 있다는 사실에서 과연 7년전의 피폭선량을 반감 시켰는가에 대하여 되묻지 않을 수 없다. 또한 우리나라의 피폭선량을 일본과 비교한<sup>4)</sup> 김등의 연구에서는 요추 정면촬영에서 1.73배, 요추 측면촬영은 2.43배, 두개부 정면촬영은 2.83배로 높아 이에 대한 개선이 시급함을 강조하고 있다.

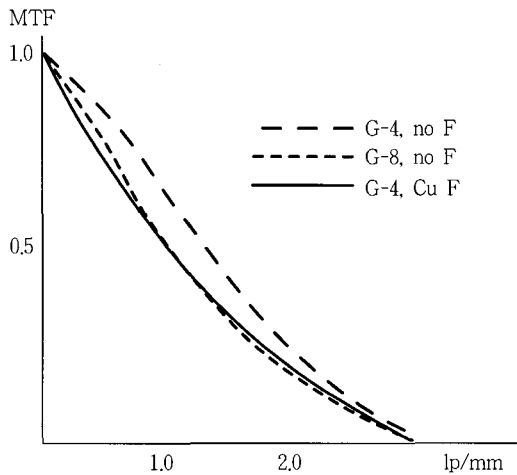


그림 9. 반감필터를 사용했을 경우와 2배감도 증감지를 사용했을 경우의 화질비교

표 4. 반감필터를 사용했을 경우와 2배감도 증감지를 사용했을 경우의 MTF

조건 공간주파수	G-4/no Filter	G-8/no Filter	반감필터 사용시 (Cu mm)
1.0 lp/mm	0.67	0.55	0.53
2.0 lp/mm	0.29	0.21	0.22

\* 80 kVp, 100 mA, 18 cm Acryl

디지털촬영이 늘어나 피폭선량을 현저히 줄일 수 있다고는 하나 아직도 많은 부분 필름/증감지 시스템을 사용하고 있고 CR, DR 촬영시 실제적으로 총 선량이 줄고 있다는 근거가 미약하다. 디지털투시(DF)의 경우에도 장시간 시술에 따른 선량증가는 피할 수 없는 실정이다.

피폭선량의 저감에 관한 구체적 목표치와 실천방향을 설정하고자 저자들은 2002년까지 X선검사에 의한 피폭선량을 1/2로 줄이고자하는 목표를 스스로 정하였고 그 실천방법으로 부가필터를 부착하는 방법과 수광계의 감도를 배가시키는 방법중 부가여과를 사용하여 간편하게 피폭선량을 반감시키는 방법을 제시하고자 하는 것이다.

여과판의 재질로서는 납, 주석, 구리, 알루미늄 등이 사용되고 있으며 구리와 알루미늄은 그 흡수단이 9 keV와 1.56 keV로 저에너지 부분을 효과적으로 흡수, 제거할 수 있어 많이 이용되고 있다<sup>5)</sup>. 또한 상품화된 새로운 필터로서 Key-filter가 소개되어 구리필터에 비해 필터효과가 높으며 환자의 표면선량을 줄일 수 있다. 그러나 실무에 적용할 때 X선관 부하가 2~4배 정도로 증대되고 촬영되는 관전압에 따라 선택하는 것이 필요하고 사진대조도가 저하되는 문제가 있으며<sup>6)</sup> 매우 고가라는 단점이 있어 널리 사용되지 못하고 있다. 구리필터와 알루미늄필터를 비교할 경우 두께 5~20 cm의 물과 등가의 흡수를 가지는 알루미늄의 두께는 8.7~53 mm, 구리의 두께는 0.34~2.42 mm이다. 이에 따라 흡수비는 물을 1.0으로 기준할 때 알루미늄은 5.8~3.8, 구리는 147.1~82.6이다<sup>7)</sup>. 그러므로 피폭

선량을 1/2로 대폭 줄이기 위해서는 알루미늄 필터는 상당히 두꺼워져야한다. 이러한 점을 감안하여 저자들은 구리필터가 여러 가지 측면에서 이상적이라 판단하고 그 구리필터의 두께를 어느 정도로 하여야 하는가에 대하여 실험하였다. 관전압과 촬영부위에 대하여 필터의 종류와 두께 등은 여러 기관들에서 비슷비슷한 기준으로 권고하고 있다.

KSA 4021(1997)의 최소치 총여과는 관전압 60 kVp 이하에서는 1.5 mmAl, 60~110 kVp일때는 2.0 mmAl, 110 kVp초과일 경우에는 2.5 mmAl으로 규정되어있으며, 촬영부위별로 사지촬영으로 50~70 kVp일 때 2~3 mmAl, 골격계촬영으로 60~90 kVp일 때 2~4 mmAl, 임신부촬영으로 90~120 kVp일 때 4 mmAl 또는 4 mmAl + 0.2 mmCu, 고압흉부촬영으로 120~150 kVp일 때는 4 mmAl + 0.1~0.2 mmCu를 권고하고 있다<sup>8)</sup>.

피사체 두께와 관전압에 따른 반감필터의 두께를 알기 위한 실험에서 보면 관전압 60 kVp에서 아크릴 두께가 10 cm, 20 cm일 경우 피부입사선량을 반으로 줄일 수 있는 반감필터의 두께는 0.15 mmCu, 0.13 mmCu로서 두께에 따라서는 큰 차이가 없다.

관전압의 상승과 함께 피사체가 두꺼운 경우의 반감필터의 두께는 크게 증가하지 않으나 피사체가 얇을 경우의 반감필터의 두께는 크게 상승하는 것으로 나타났다. 즉 관전압이 상승하면 피사체 두께차이에 의한 반감필터 두께 차이가 커지며 두꺼운 피사체일수록 얇은 여과판을 사용하여도 선량 반감효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 그 이유는 피사체가 두꺼울수록 산란선이 필름농도에 기여하는 부분이 많아지고 상대적으로 연선인 2차선의 감약효과가 커지기 때문으로 사료된다.

반감필터 사용시 화질의 변화를 알기 위한 실험에서는 MTF 값이 저하되어 전체적으로 반감필터를 사용할 경우 화질이 낮아짐을 알 수 있으나 실제 팬텀을 촬영하여 시각적효과를 비교한 결과로는 큰 차이를 발견 할 수 없었다. 필터를 사용하여 피폭선량을 줄이고자 할 경우의 단점으로 화질저하와 함께 X선관의 부하의 증가를 꼽을 수 있다. 실험에 의하면 반감필터를 사용하여 피폭선량을 반으로 줄이는 대신 증가시켜야하는 장치의 부하증가율은 사지가 4.0로 가장 노출증가가 컸고 흉부가 2.9, 두부가 1.62이며 복부가 1.58배 늘어나고 있다.

반감필터를 사용했을 경우와 2배감도 증감지를 사용했을 경우의 화질비교에서는 증감지의 감도를 배가하거나 반감필터를 사용할 경우에는 낮은 감도 증감지로 필터를 사용하지 않을 경우보다 화질이 분명히 저하하고 있으나 2배 감도의 증감지와 반감필터 사용시의 화질은 거의 동일하다. 이와 같이 저자들이 목표로 한 피폭선량의 반감을 위한 필터의 두께를 구하였으며 그에 따른 단점에 대하여서도 고찰하였다. 화질향상과 피폭선량의 경감이라는 공동 목표를 향해 구호보다는 작은 실천이 필요한 때라고 생각한다.

## VI. 결 론

각 촬영부위별로 피폭선량을 반감시키는 구리필터의 두께를 실험으로 구하고 선량을 반감시키는데 따른 화질의 변화를 검토하였다. 또한 증감지의 감도를 2배 올려 피폭선량을 반으로 줄일 경우와 부가필터로 피폭선량을 반감시킬 경우의 화질변화에 대하여서도 비교하였다. 이와 같은 실험의 결과로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 촬영부위별 피폭선량을 반으로 줄일수 있는 반감필터의 두께는 사지 : 0.24 mmCu, 흉부 : 0.53 mmCu, 두부 : 0.14 mmCu이며 복부는 0.12 mmCu로 나타났다.
2. 피사체가 두꺼운 경우(20 cm) 관전압 상승에 따른 반감필터의 두께는 크게 증가하지 않으나 피사체가 얇을 경우(10 cm)에는 관전압이 증가하면 반감필터의 두께는 크게 상승한다.
3. 관전압이 높아질수록 피폭선량을 반으로 감소시키는 여과판의 두께는 두꺼워야 한다.
4. 반감필터를 사용하여 피폭선량을 반으로 줄이고자 할 때 증가시켜야하는 장치의 부하증가율은 사지가 4.0, 흉부가 2.9, 두부가 1.62이며 복부가 1.58이다.
5. 반감필터를 사용할 경우 물리적 화질은 낮아진다. 그러나 임상사진의 시각적평가로는 큰 차이를 발견할 수 없었다.

6. 2배 감도의 증감지를 사용하여 선량을 반감시킬 경우와 반감필터를 사용하여 선량을 1/2로 할 경우의 화질은 거의 동일하다.

## 참 고 문 헌

1. 大塚昭義 : X線検査における患者被曝低感の技術的研究, 日本放射線技術學會雜誌 39(5), 760~778, 1983.
2. 김성수, 허 준 외 : X선촬영 조건에 따른 피폭선량 조사연구, 한방기학지 21권 2호, 19~25, 1998.
3. Z4703-1993, 의용 X선기기장치통치, 일본규격협회, 1994.
4. 鈴木 外 : 診断領域X線患者被曝線量の測定(第11報), 日本放射線技術學會雜誌, 50(2), 243, 1994.
5. 허 준, 김창균 외 : 희토류 증감지를 이용한 여과판의 효과, 한방기학지 11권 1호, 17~23, 1988.
6. 허 준, 김성철 외 : X선 피폭선량 경감용 Key-filter의 평가 한방기학지 20권 1호, 61~64, 1997.
7. 허 준, 김창균 외 : 각종 X 선흡수체에 관한 실험, 한방기학지 7권 1호, 125~129, 1984.
8. 김정민 외 : 방사선화상정보학, 신광출판사, 128~131, 2000.