

진단방사선 영역에서 피폭선량 감소를 위한 기술적 연구 — 관전압과 부가여과판을 중심으로 —

동아대학교 부속병원 방사선과
하 호 영

Abstract

A Study for Reduction of Radiation Dose in the Field of Diagnostic Radiology — A Point of Tube Voltage and Filtration —

Ho Young Ha

Dept. of Radiology, Dong-A University Hospital

X-ray quality is identified numerically by half value layer(H.V.L) and the HVL is affected by the kVp and the amount of filtration in the useful beam.

X-ray quality evaluated by H.L.D is influenced by kVp and filtration. Author had several experiments with phantom in diameter of 8 cm normal adult chest, for reduction of radiation dose of the patients in diagnostic radiology and got some results.

1. H.V.L is increased the thicker the filter and the higher the kVp.
2. If the kVp is increased from 60 to 120, the skin dose can be reduced as 34% (Skin dose of 60 kVp with 4 mmAl filter : 100%).
3. If the 4 mmAl filter with 60 kVp is added to x-ray tube, skin dose can be reduced as 23% than no filter.
4. Therefore high kVp and filtration can increase output to input dose ratio and 120 kVp and 4 mmAl filter were most effective for reduction of patient dose in chest radiography.

I. 서 론

방사선에 의한 피폭선량의 문제 제기는 결코 새로운 주제는 아니며 국제방사선방어위원회(ICRP)¹⁾의 선량제한 권고로부터 국내외에 이

미 많은 연구가 보고되었다. 그 중에서 의료용 방사선 사용에 의한 피폭선량 문제는 과거에는 특정 소수에만 국한된 문제였으나 근래에는 의료용 방사선 사용자의 수요증가로 인해 그 선량이 대폭 늘어났으며 의료방사선을 사용하는

한 피폭선량의 저감은 방사선 작업종사자나 피검자 모두가 가장 염두에 두어야 할 문제로 대두되었다.

현재 인공방사선 중에서 가장 이용도가 높은 것이 의료분야이고, 이것은 국민의 방사선 피폭량의 대부분을 차지하고 있다.

즉 의료피폭의 양상이 과거처럼 환자 진료에만 국한되는 것이 아니고 흉부, 위장병변을 조기 진단하기 위한 집단검진이 학교, 직장 등에 확대되고 있으며 최근에는 보험 또는 법의학 목적에도 필요하게 되는 등 그 영역이 증가되는 추세에 있기 때문이다.

따라서 미량의 방사선 피폭이라도 장기적으로 여러번 노출되면 유전적 영향이나 백혈병 등의 유발 확률이 높아지므로 개인피폭 관리도 중요하지만 국민선량 감소에 인식을 새롭게 하여야 한다²⁾.

의료용 방사선의 대표격인 X선 검사는 세계적으로 연간 5~15%씩 증가하고 있으며 이러한 증가율로 계산하면 6~8년마다 약 2배의 증가를 이루게 되므로 국민의 의료피폭을 현재 상태로 현상유지하기 위해서는 약 7년마다 1 검사당 노출되는 피폭선량을 반감시킬 필요에도달하게 된다³⁾.

최근 피폭선량 저감에 대한 관심은 국내외에서 그 연구나 노력이 매우 저하되고 있는 인상을 받고 있으나 환자와 작업종사자의 의료피폭 문제는 의료방사선 사용기술의 영원한 난제로서 항상 염두에 두어 노력하지 않으면 안 될 사항이다⁴⁾.

저자는 국민보건학적 견지에서 인공방사선 사용이 가장 많은 진단방사선 분야의 피폭선량 저감에 착안하여 X선 조사의 1차적 사용자인 방사선사의 기술적인 연구에 의해 피폭선량을 감소시키고자 본 연구를 시행하였다.

피폭선량 감소의 기술적 문제는 그 방법상 여러 가지가 논의될 수 있으나⁵⁾ 그 중에서도 X선 발생장치의 관전압 사용과 부과여과판의 이상적 부착에 의한 피폭선량 감소효과에 의의

를 두고 실험을 하였다.

II. 실험기재 및 방법

1. 실험기재

- X선 발생장치 : Dong-A 150 kVp, 500 mA
- 선량계 : Victoreen rad check(Model 06-525)
- Al Filter 0.5 mm~8 mm
- Grid : 8 : 1-Samwoo
- Densitometer : Sakura PDA-81
- Acryl phantom(8 cm 두께)

2. 실험방법

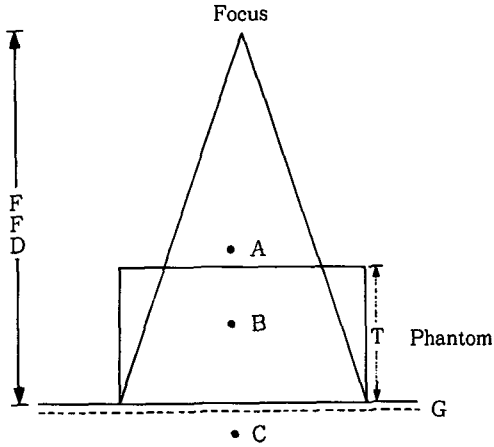
1. 관전압 변화와 부가여과판 부착에 따른 선질을 알기 위하여 부가여과판을 사용하지 않았을 때와 2, 4, 6, 8 mmAl 여과판에 각각 60 kVp, 80 kVp, 100 kVp, 120 kVp, 140 kVp의 관전압 별로 조사하여 반가층을 측정하였다. 이때 조사면적은 30 cm×30 cm으로 하였고 각 관전압에 따라 계수형 관전압 측정기로 측정하여 관전압의 변동을 줄였으며, 측정치의 정확도를 기하기 위해 선량은 각 3회 반복 측정하여 그 평균치를 구하였다.

2. 관전압에 따른 출력 변화를 보기 위하여 각 관전압별로 선량을 조사하고 선량/관전류(mR/mAs)을 산출하였다. 이때 조사면적은 30 cm×30 cm으로 하였으며, SID(source-image distance)는 100 cm로 하였다.

3. 관전압과 부가여과판에 따른 표면선량과 중심부위선량, 투과선량을 알기 위해 그림 1과 같이 장치하고 60, 80, 100, 120, 140 kVp의 각 관전압에 대하여 0, 2, 4, 6, 8 mmAl 여과판을 부착하고 각기 선량을 측정하였다.

또한 각 관전압과 여과판에서 투과선량을 필름 농도 1.5를 내도록 mAs를 조정하여 표면선량과 중심부위 선량을 측정하였다. 이때 조사면적은 30 cm×30 cm이며, 격자(grid)는 국산

삼우사 8 : 1 grid, phantom의 크기는 8 cm 두께의 정상성인 흉부전후 크기와 비슷하게 제작하였고, 측정기는 Victoreen rad check를 사용하였다.



- FFD : 100 cm
- T : 8 cm Acryl
- G : Grid 8 : 1
- A : 입사선량
- B : 중심선량
- C : 농도 1.5를 내는데 필요한 선량

그림 1. 표면선량과 중심선량 측정

Ⅲ. 실험결과

1. 실험 (1)

1) 관전압 변화에 따른 반가층을 알기 위하여 관전압을 60 kVp부터 140 kVp까지 20 kVp씩 상승 변화시키면서 부가여과판 두께에 따른 반가층은 그림 2와 같다.

관전압 상승에 따라 반가층은 전체적으로 상승하고 있으며 여과판이 없는 경우 60 kVp에서 반가층이 1.2이고 140 kVp에서 반가층이 2.8로 상승하고 있으며, 4 mmAl 부가여과판인 경우 60 kVp에서 반가층이 2.7이고 140 kVp에서는 반가층이 4.9로 나타났다.

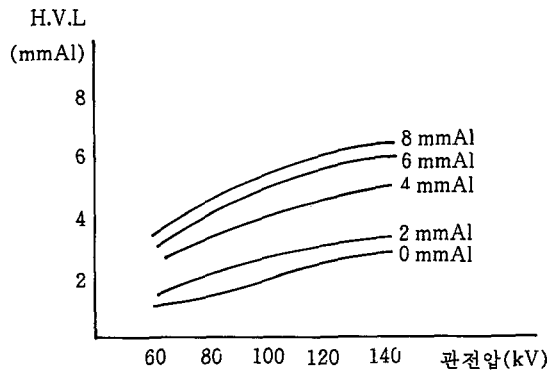


그림 2. 관전압에 따른 반가층

2) 여과판 두께에 따라 관전압 별로 구한 반가층은 그림 3과 같다.

여과판의 두께가 0에서부터 8 mmAl까지 변화하는데 따라 반가층은 상승하고 있으며 60 kVp의 경우 여과판이 없는 경우 반가층이 1.0에서 8 mmAl 여과판일 경우에는 3.3으로 증가되었으며, 120 kVp의 경우 여과판이 없는 경우 반가층이 2.7이었으나 4 mmAl 부가여과를 한 경우에는 반가층이 4.7이 되고 8 mmAl 부가여과를 한 경우에는 반가층이 5.8까지 증가하였다.

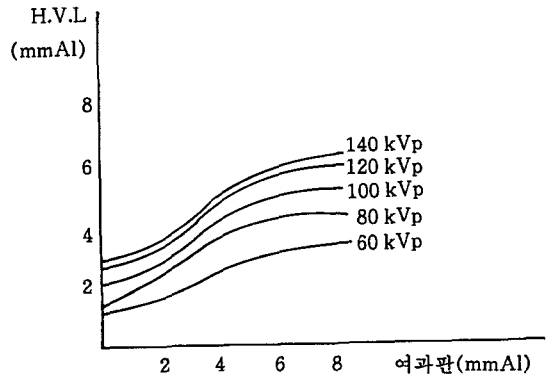


그림 3. 여과판 두께에 따른 반가층

2. 실험 (2)

관전압에 따른 출력 변화는 그림 4와 같다.

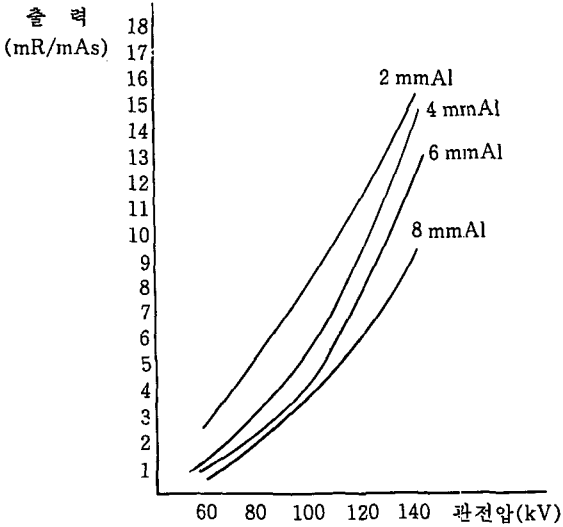


그림 4. 관전압에 따른 mAs당 mR

kVp가 증가함에 따라 출력(mR/mAs)이 증가됨을 알 수 있으며 그 값은 2 mmAl 부가여과판이 있는 경우 60 kVp에서 2.6 mR/mAs이고 140 kVp에서 15.4 mR/mAs까지 변화되고 있다.

4 mmAl 부가여과판인 경우에서도 60 kVp에서 1.6 mR/mAs이고 140 kVp에는 14.5 mR/mAs로 증가되었다.

3. 실험 (3)

1) 관전압 상승 및 여과판 두께에 따른 표면선량을 비교한 결과는 그림 5, 6과 같다.

횡축은 관전압 변화를 나타내고 종축은 60 kVp일 때의 표면선량을 100%로 하였을 경우에 각 관전압에 따른 표면선량을 백분율로 나타낸 것이다.

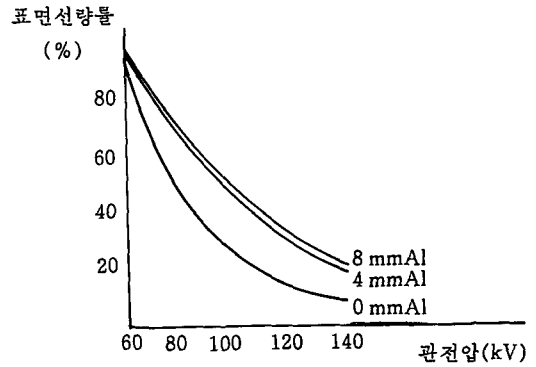


그림 5. 관전압에 따른 표면선량 감소효과

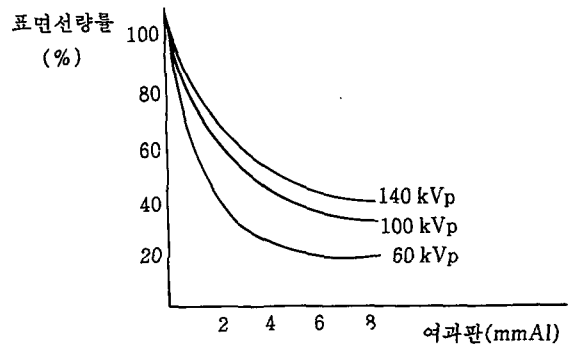


그림 6. 여과판에 의한 표면선량의 감소효과

그림 5에서 관전압이 증가하는데 따라 표면선량은 급격히 저하됨을 알 수 있으며, 60 kVp일 때에 여과판이 없을 경우를 100%로 하면 80, 100, 120, 140 kVp로 kVp가 증가함에 따라 46, 26, 16, 11%로 선량이 감소되었으며, 4 mmAl 부가여과판인 경우 매 20 kVp마다 70, 50, 33, 24%로 선량감소가 둔화되며, 8 mmAl 부가여과판을 한 경우도 4 mmAl 부가여과판의 경향과 유사한 결과를 보여준다.

그림 6은 여과판 두께에 따른 표면선량을 나타낸 것이며, 여과판 두께가 2, 4, 6, 8 mm로 증가할 때 표면선량이 60 kVp에서 38, 23, 18, 17%로 급격히 감소하고 있으며, 100, 140 kVp일 때 선량감소 효과는 둔화되나 그 경향은 같다.

2) 관전압과 부가여과판 두께의 변화에 따른 표면선량과 중심부위 선량은 그림 7, 8, 9, 10과 같다.

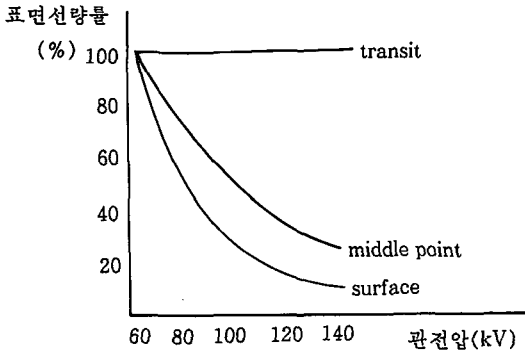


그림 7. 관전압에 따른 표면선량과 중심선량 (2 mmAl 여과판)

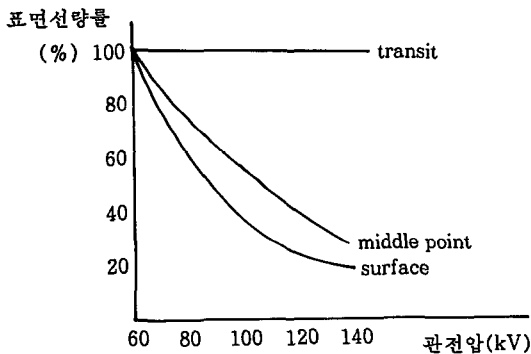


그림 8. 관전압에 따른 표면선량과 중심선량 (4 mmAl 여과판)

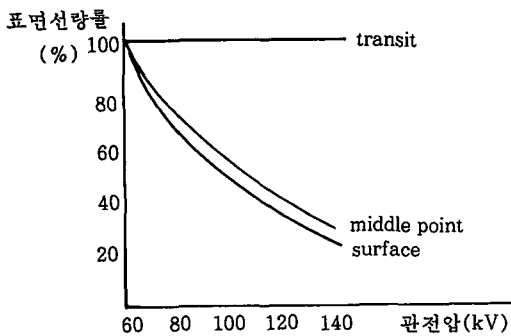


그림 9. 관전압에 따른 표면선량과 중심선량 (6 mmAl 여과판)

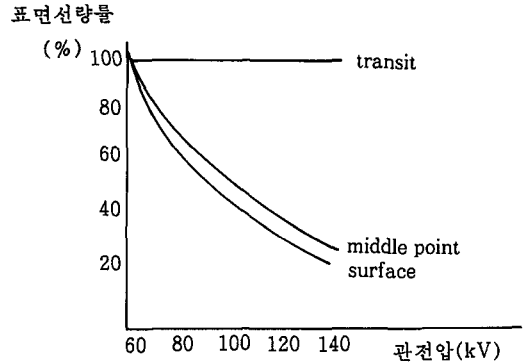


그림 10. 관전압에 따른 표면선량과 중심선량 (8 mmAl 여과판)

이때 조사면적은 30 cm×30 cm이며 8 : 1 grid를 사용하였고, 인체 phantom으로 8 cm 아크릴을 사용하였다. 또한 투과선량을 4 mR 정도(농도 1.5를 나타냄)로 일정하게 하고 이때 중심부 선량과 표면선량을 비교하였다.

그 결과 2 mmAl 여과판을 부착한 경우에 관전압 60 kVp~140 kVp 변화에 대하여 100, 48, 26, 15, 12%로 표면선량이 급격히 감소하고 있으며 중심부 선량도 70, 48, 33, 26%로 감소하고 있음을 보여준다.

여과판의 두께가 4, 6, 8 mm로 증가함에 따라서 선량감소의 경향은 같으나 여과판의 두께가 두꺼워짐에 따라 중심부 선량과 표면선량 차이가 감소되는 것을 알 수 있다.

3) 관전압과 여과판 두께의 변화에 따른 입사선량에 대한 투과선량비는 그림 11, 12와 같다.

그림 11과 그림 12는 실험 3의 결과에 따라 입사선량에 대한 투과선량비를 산출한 것으로 선질이 경화되어 투과력이 증대되는 것을 알기 쉽게 표시하기 위하여 입사선량에 대한 투과선량비에 1000을 곱하여 semi-log 그래프에 나타내었다. 그림 11에서 보면 관전압 증가에 따라 입사선량에 대한 투과선량이 급속히 증가하고 있으며 부가여과가 4 mmAl 이상이 되면 그 효과가 별로 크지 않았다.

그림 12에서도 여과판 두께가 증대될수록 입사선량에 대한 투과선량이 증가되는 것을 알 수 있다.

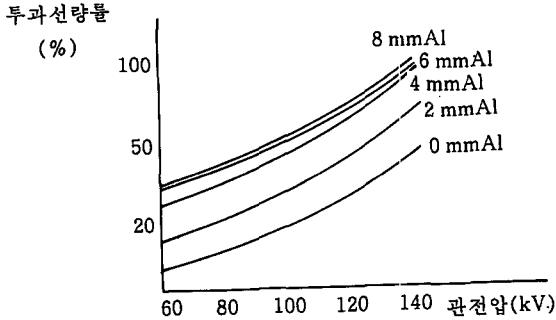


그림 11. 관전압에 따른 입사선량에 대한 투과선량비

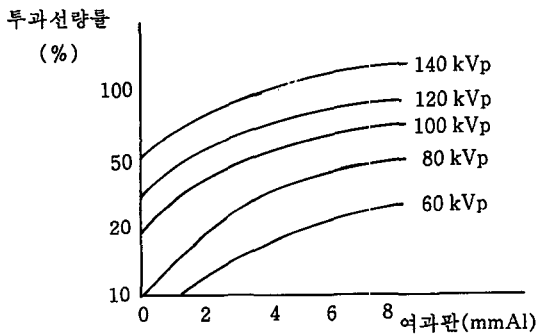


그림 12. 여과에 따른 입사선량에 대한 투과선량비

IV. 고 찰

고관전압 촬영법은 1924년 Weber 및 Gortan 등이 처음으로 실시하였는데 100 kVp까지의 관전압으로 소위 저압과 고압의 중간전압에 대한 것이었고, 1929년 Stephani는 150 kVp까지의 고압을 써서 폐의 X선 촬영을 시행하여 현재의 고관전압 촬영의 길을 열었으며, Wachsmann (1952)은 고관전압 촬영법의 기초적 임상적 연구를 시행하여 고관전압 촬영의 유용성을 강

조하였다⁹⁾.

우리나라에서는 1960년초부터 관전압이 125~150 kVp의 고관전압 촬영장치가 많이 도입 설치되었으나 그 이용은 부실한 상태에 있다⁷⁾.

고관전압 촬영법에는 일반촬영을 목적으로 한 일반 고관전압 촬영법과 고관전압의 특징을 최대한 이용하여 특수촬영에 쓰는 것을 목적으로 한 특수 고관전압 촬영법이 있다.

일반 고관전압 촬영법은 주로 노출을 경감시키고 또한 화질을 향상시키는 반면 특수 고관전압 촬영법은 주로 골음영의 말소에 많이 이용되고 있다. 전자에서는 120~140 kVp, 후자에는 200~300 kVp가 적당하다.

고관전압을 사용할 때의 특징은 첫째 진단영역이 확대되고, 둘째 X선관 부하가 현저하게 감소하며, 셋째 피폭선량이 감소한다.

고관전압 촬영의 경우, 피사체 표면 선량은 저관전압 촬영에 비하여 현저하게 줄어들며 투과선량은 저관전압 촬영보다도 많아져 결국 피폭선량이 줄어들게 된다^{8,9)}.

X선관에서 발생하는 X선의 에너지는 연속 스펙트럼이며 여러 가지 투과성을 갖는 X선이 혼재하므로 고관전압 촬영의 특징을 최대한 살리려면 투과성이 작은 성분을 제거할 필요가 있는데 이를 위해 여과판을 사용한다¹⁰⁾.

적당한 여과판의 두께 등은 X선 장치의 정류방식이나 X선관의 종류에 따라 다르기 때문에 일률적으로 결정할 수는 없다¹¹⁾.

고관전압에서는 여과판을 상당히 변화시켜도 X선 사진에는 큰 영향을 주지 않으므로 노출시간을 연장해서까지 여과판을 두껍게 할 필요는 없으며, 부가여과판은 통상 120 kVp에서 4 mmAl, 150 kVp까지는 4 mmAl+2 mmCu 정도의 것이 사용된다¹²⁾.

X선 영상에 미치는 영향 및 피부선량은 선질에 의하여 많은 차이가 있으므로 X선의 선질을 결정하는 것은 진단방사선 영역에서 중요한 요소가 되며, 선질은 종합적 투과력과 균등도를 나타내는 것으로 X선의 분광학적 에너지

의 분포상태를 말한다. 그러나 그 측정의 번잡을 피해 의학적 응용면에서는 가속전압과 제1 반가층의 비를 부가해서 표시하는데, 반가층이란 입사X선의 선량률을 그 반분의 값으로 감량시키는데 필요한 여과판의 두께로서 보통 동(Cu) 또는 알루미늄(Al)의 두께인 mm로서 나타낸다. 또한 X선의 선질은 최단파장과 실효파장의 비로 나타내는 일도 있으며 가속전압과 여과판의 조합으로 기록되는 일도 많다¹³⁻¹⁵⁾.

선질을 결정하는 인자로서는 X선관의 양극 물질의 종류, 가속전압, 여과판이 있는데 조사 선질로서 영향을 받는 것은 가속전압과 여과판이다.

관전압 변화와 부가여과판 부착에 따른 반가층을 알기 위하여 관전압을 60 kVp부터 140 kVp까지 20 kVp씩 변화시키면서 여과판의 경우 0, 2, 4, 6, 8 mmAl에 대하여 측정한 실험 1의 결과 관전압 60 kVp 2 mmAl 여과판의 경우 1.5, 80 kVp 2 mmAl 여과판의 경우 2.0으로 고¹⁶⁾의 연구와 일치하고 있으며 부가여과가 6 mmAl을 넘어 두꺼워질수록 반가층 증가가 약간씩 둔화되는 것을 보여준다.

전체적인 경향은 kVp가 60에서 140으로 상승함에 따라 반가층도 1 mmAl에서 6.4 mmAl으로 증가하여 선질이 경화되는 것을 보여주었으며 선질이 경화된다는 것은 방사선의 투과력이 증대된다는 것을 의미한다.

관전압에 따른 출력 증가는 고관전압이 될 경우 mAs당 출력을 파악하게 되면 관전압 증가에 따른 촬영조건 설정이 용이해진다. 결과적으로 관전압이 상승하게 되면 반가층이 두꺼워져 선질이 경해지며 출력이 증가됨을 알 수 있다.

저자의 실험에서는 관전압의 증가에 따라 표면선량이 감소하고 여과판의 두께가 증가함에 따라 반가층이 증가되었는데 이러한 저자의 결과는 中村¹⁷⁾의 보고보다 10~15% 증가하였으나 전체적인 경향은 일치하고 있다.

따라서 진단용 X선 장치의 총여과는 피폭선

량 감소와 양질의 X선 사진상의 형성면에서 대단히 중요하며, 총여과가 부족할 때에는 X선 사진상에 불필요한 장파장 X선의 함유가 많아 인체에 피폭이 많아지게 되므로 진단용 X선 장치의 용량에 따라 어떠한 한계점을 각 나라마다 공업규격으로 설정해 놓고 이를 지키도록 규정하고 있다. 한국공업규격(KS)이나 일본공업규격(JIS) 및 미국보건후생성(USA-Department of Health : Education and Welfare)에 의하면 X선 장치의 최고 정격관전압이 60 kVp 이하에서는 1.5 mmAl, 60~100 kVp 범위에서는 2.0 mmAl, 100 kVp 이상의 진단용 X선 장치에서는 2.5 mmAl당량으로 총여과를 공통적으로 정하고 있다^{18,19)}.

저자의 경우 각 여과판 두께마다 관전압에 따른 표면선량과 중심부선량, 투과선량을 각각 측정한 결과 여과판의 두께가 4 mm, 6 mm, 8 mm로 증가함에 따라서 선량 감소의 경향은 거의 동일하나 여과판 두께가 두꺼워짐에 따라 중심부 선량과 표면선량 차이가 감소되는 것을 알 수 있었으며, 8 cm 아크릴 phantom에서는 大塚³⁾의 연구와 그 경향이 일치하고 있다.

그러나 大塚³⁾는 grid와 부가여과판의 선택을 신중하게 하지 않으면 흉부촬영에서 여과판이 없는 경우는 저압보다 고압촬영이 오히려 피폭량이 증대된다고 경고하고 있으며, 피폭선량은 X선 발생장치의 정류파형에도 영향을 받아 동일 관전압일 경우에 단상전파정류보다 삼상전파정류 장치가 10 kVp 정도의 선량감소 효과가 있다고 보고하고 있다.

입사선량에 대한 투과선량의 비는 中村¹⁷⁾이 투과선량에 대한 입사선량으로 표시한데 비하여 저자는 선질 경화를 알기 쉽게 표시하기 위하여 입사선량에 대한 투과선량비에 1000을 곱하여 semi-log 그래프에 표시하였는데 그 결과, 저자의 실험에서는 관전압 증가에 따라 입사선량에 대한 투과선량이 급속히 증가하고 있으며 여과판 두께가 증대될수록 입사선량에 대한 투과선량이 증가되는 것을 알 수 있었다.

여과판의 두께가 증가함에 따라 입사선량에 대한 투과선량이 증가되는데, 4 mmAl 이상에서는 그 효과가 둔화되었다. 따라서 진단용 X선장치에서는 60 kVp~140 kVp일 경우 4 mmAl 여과판 정도가 적절하며 그 이상의 여과판을 부가하더라도 그 효과는 더욱 많이 얻을 수 없음을 나타내고 있다.

입사선량과 투과선량의 차이가 피폭선량이라는 개념에서 보면 입사선량에 대한 투과선량의 비가 크다는 것과 투과선량에 대한 입사선량의 비가 작다는 것은 결국 피폭선량이 작다는 것을 의미하며, 투과선량에 대한 입사선량의 비는 높은 kVp, 얇은 여과에서 그 차이가 크고, 높은 kVp와 두꺼운 여과판에서 그 차이가 적게 나타나는 보고¹⁷⁾가 있어 본 실험결과와 일치하고 있었다.

V. 결 론

의료진단 목적의 방사선 사용에 있어서 환자나 술자가 받는 피폭선량을 최소화시킬 목적으로 X선 발생시 사용하는 관전압을 변화 조정하고 발생장치에 여과판(filter)을 두께별로 부착하여 실험한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 관전압 증가와 부가 여과판 부착에 따라 반가층이 증가되었으며, 이는 선질이 경화되는 것을 알 수 있었다.

2. 관전압 증가에 따라 4 mm 알루미늄(Al) 여과판의 경우에 표면선량은 60 kVp에서 100%라 할 때 100 kVp에서는 50%, 120 kVp에서는 34%까지 줄일 수 있었다.

3. 여과판의 두께 증가에 따라서도 표면선량은 여과판을 부착하지 않은 경우에서 60 kVp를 100%라 할 때 2 mmAl 여과판에서 37%까지, 4 mmAl 여과판에서 23%까지 감소되었다.

4. 이상의 결과로서, 관전압이 상승되고 여과판의 두께증가에 따라 입사선량에 대한 투과선량이 증가하여 피폭선량이 감소함을 알 수 있

었으며, 따라서 흉부촬영의 경우에 환자 피폭선량을 고려한 관전압은 120 kVp 이상이 유용하며 부가여과판은 4 mmAl까지가 가장 효과적이었다.

참 고 문 헌

1. ICRP : Publication 26, Recommendation of the International Commission on Radiological Protection, 1977.
2. Bushong SC : "Radiologic Science for Technologists Physics, Biology and Protection", Radiology Science for Technologists, 3rd ed, p323~358, The C.V Mosby Company, 1984.
3. 大塚昭義 : X線検査における 患者被曝低減の技術的研究, 日本放射線技術學會雜誌 39(5) : 760~778, 1983.
4. 許俊 : 21세기를 向한 放射線 技術, p 229~244, 新光出版社, 1987.
5. 中村實 : X線撮影における被曝量減少について, 中村博士業績集, p 267~341, p 564~566, 1977.
6. 江副正輔 : X線撮影技術學, p 227~228, 南山堂, 1982.
7. 金昌均 : 胸部X線検査時 患者의 被曝線量에 對한 研究, 韓放技學誌, 13 : 36~42, 1990.
8. 許俊 : X線 撮影技術學, p 246~257, 新光出版社, 1982.
9. 姜弘錫 : 胸部高官電壓 撮影條件에 關한 檢討, 韓放技研誌, 2 : 175~181, 1979.
10. 安奉善 : 회도류 증감지를 利用한 여과판의 效果, 韓放技學誌, 11(1) : 17~23, 1988.
11. Christensen EE : An Introduction to the Physics of Diagnostic Radiology, 2nd ed, p 74~75 Lea & Febiger, 1978.
12. 古典儀之 : X線撮影における患者の被曝, 日本放射線技術學會雜誌, 19 : 669~671, 1972.
13. 金昌均 : 診療放射線物理學, p 51~60, 大學

- 書林, 1991.
14. Ball JL, More AD : Essential Physics for Radiographers, Blackwell Scientific Publication, p 170~181, 1980.
 15. Hendee WR : Radiology Physics, Equipment and Quality Control, p 57~63, Year Book Medical Publishers, 1977.
 16. 高信官 : 診斷用 X線의 半價層에 關한 研究, 韓放技學誌, 7(1) : 53~65, 1984.
 17. 中村實 : X線撮影における被檢者の被曝量減少に關する基礎的研究, 中村實博士業績集, p 648~642, 1977.
 18. 金英一 : 診斷X線裝置의 總濾過에 關한 調査研究, 韓放技學誌, 7(1) : 47~51, 1984.
 19. 許俊 : X線 診斷에 있어서 患者被曝線量の輕減에 對한 研究, 高麗醫技大雜誌, 5 : 296~301, 1974.