

# X선 진단영역에서 중원소(Ho) 여과판 사용에 따른 피폭선량 감소와 대조도 개선에 관한 연구

광주보건대학 방사선과  
김 영 근

- Abstract -

## A Study on the Reduction of Exposure Dose and Contrast Improvement by Use of Heavy Elements Filter

Young Keun Kim  
Department of Radiotechnology Kawng - ju Health College

This work was on the reduction of exposure dose and contrast improvement by Use of Heavy Elements Filter. From the result of experimental evaluation, it was found that the beam harding of X-ray was not showed in Ho and Gd, heavy elements filters, contrast to Cu and Al filters in which the harding showed. And the ratio of transit dose to surface dose and the load of X-ray tube increase in order of Al, Cu, Gd and Ho, respectively. The contrast of X-ray images using the intensifying screen and the input phosphor showed the higher value in order of Cu, Al, Gd and Ho. Therefore, in the case of using contrast media and phosphor in region of diagnostic radiology, X-ray image quality depends primarily on kVp and heavy elements filters.

### I. 서 론

의료 방사선 영역에서 X선 사진 화질 개선과 환자 피폭선량 감소는 중요한 과제이다. 방사선에 의한 피폭선량의 문제제기는 국제방사선방어위원회(ICRP)<sup>1)</sup>의 선량제한 권고로부터 시작하여 국내외에 이미 많은 연구가 보고되었다<sup>2)</sup>. 의료용 방사선의 대표적인 검사는 세계적으로 연간 5~10% 증가하고 있으며 이러한 증가율로 계산하면 6~8년마다 약 2배의 증가를 이루게 되므로 국민의 의료피폭을 현재 상태로 유지하기 위해서는 약 7년마다 검사당 노출되는 피폭선량을 반감시킬 필요에 도달하게 된다<sup>3)</sup>.

X선 촬영에 사용되는 선질은 화질과 피폭선량을 결정하는 중요한 인자로 촬영관전압과 부가필터에 영향을 받는다. 일반적으로 X선관에서 방출되는 X선 에너지는 연속 spectrum으로 인체를 투과하지 못하는 저 에너지부터 상의 contrast를 저해하는 고 에너지 성분까지 포함되어 있다<sup>4,5)</sup>. 저 에너지 성분은 화상형성에는 기여하지 못하

고 피사체에서 흡수되어 환자피폭의 원인이 되므로 이러한 성분을 제거하기 위해서 여과판으로 알루미늄(Al), 구리(Cu) 등의 금속을 이용하여 왔다<sup>6~10)</sup>. X선의 실효에너지를 증가시키기 위해서 관전압을 높이는 것보다 금속의 부가필터를 삽입하는 것이 효과적이어서 각종 원소를 소재로한 부가필터의 연구가 계속 진행중이다. 중원소인 Ho(Holmium)은 K흡수단이 55.59 keV로 1차 X선의 저·고 에너지 영역을 흡수하고 요오드 조영제가 필요로 하는 에너지영역을 선택적으로 투과하는 특성을 가지고 있어 지금까지 이용되던 알루미늄과 구리필터와는 다른 효과를 가지고 있어 중원소 여과판 사용은 상의 대조도 개선과 환자 피폭선량 경감에 기여할 것이다<sup>4, 11~15)</sup>.

본 논문에서는 X선 선속 경화 필터인 Al, Cu와 중원소 필터인 Gd, Ho를 사용해서 관전압 변화, 조사선량 변화, 동일한 농도를 내는데 필요한 관전류량 및 선량의 변화를 측정하였고, 조영제를 사용했을 때의 여과판 물질별 대조도를 측정하여 X선 사진상의 화질개선과 환자 피폭선량 경감효과를 알아보았다.

\*이 논문은 1999학년도 광주보건대학 교내 연구비지원에 의해 수행되었음.

## II. 실험 방법

### 1. 실험 재료 및 장치

본 연구에서 사용된 재료는 Al, Cu, Gd, Ho filter, 요오드 조영제(셀라인에 1:1희석) 0, 5, 10, 15 mm, DSA phantom(Victoreen Co., Linary insert : 76-719) 15 × 20 × 2.5 cm 크기에 요오드 함유량 0.5, 1, 2, 4, 10 mg/cm<sup>2</sup>, 두께 18 cm의 아크릴 수지판 등이고, 측정에 사용된 기기는 X선 발생장치(DRF-150-500), DSA 발생장치(TRF-500-1000, Philips, Integris C-2000), X선 에너지의 재현성, 직선성을 감시하기 위한 관전압·관전류계인 Dynalyzer III U high Voltage unit(Radical Co., USA), 형광량을 측정하기 위해 형광량계 Torex(EY-100 2D), 조사선량을 측정하기 위해 선량계 PMX-III(RTI, Serial No. 1058), 조사된 관전압을 측정하기 위해서는 비접속형 관전압 측정기인 Multi function meter(RMI, Model 240A)를 사용하였고, 사진 농도 1.0을 나타내기 위해 자동현상기(DSP-5000, Kodak EKT A Scan-2180), 필름/증감지 system(Konica AX/Okamoto DMS), DSA system film(Fuji laser HM)과 농도계 X-Rite(Model 301) 등이 사용되었다.

### 2. 실험 방법

#### 1) X선 선질의 측정

Al, Cu, Gd, Ho filter 사용할 때 X선 선질이 변화되는 것을 측정하기 위해서 Non filter, 2.0 mm Al filter, 0.2 mm Cu filter, 0.1 mm Gd filter, 0.105 mm Ho filter을 사용하고, 관전압 60~100 kVp, 조사거리(SID) 100 cm와 조사야(field size) 10 × 10 cm에서 Multi-function meter로 각각 9회 측정하여 그 평균치를 산출하여 측정치로 하였으며, 그 block diagram은 Fig. 1과 같다.

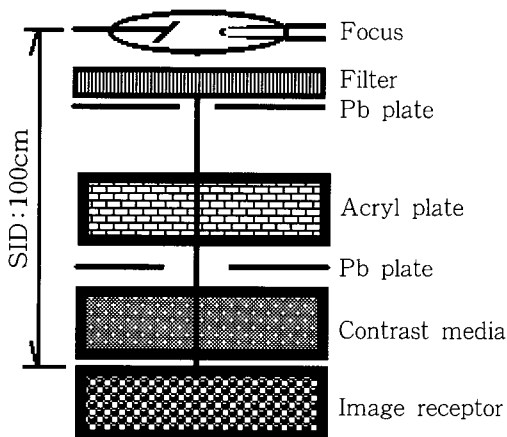


Fig. 1. Block diagram of experimental apparatus.

#### 2) 조사선량의 측정

각 필터 사용시 X선 조사선량이 변화되는 것을 측정하기 위해서 복부용 팬텀으로서 두께 18 cm의 아크릴 수지판을 쓰고 초점에서 투과선량 측정점까지는 100 cm, 관전압 70, 80, 90 kVp, 관전류 200 mA, 조사시간 0.3 sec로 고정하고 표면선량, 투과선량을 선량계로 측정하였다. 또한 각 필터를 사용할 때 촬영조건을 관전압 80 kVp에서 농도 1.0을 내는데 필요한 관전류량을 Screen/film system과 형광량계로 구한 다음 그 조건으로 촬영할 때의 표면선량과 투과선량 및 관전류량을 각각 9회 측정하여 그 평균치를 산출하여 측정치로 하였다.

#### 3) 여과판 물질별 대조도 측정

일반촬영장치에서 여과판 물질별 대조도를 측정하기 위해 혈관 조영제인 Iopamiro를 2배로 희석하여 사용하였고 그 두께는 0, 5, 10, 15 mm로 변화하고 각 관전압에서 형광량을 측정하여  $\frac{F_a - F_b}{F_a + F_b}$  ( $F_a$ : 조영제가 없을 때의 형광량,  $F_b$ : 조영제가 있을 때의 형광량)식에 의해 대조도를 산출하였다.

또한, 혈관전용촬영장치인 DSA와 DSA phantom를 사용하고, 68, 73, 78 kVp에서 여과판 물질별 대조도를 측정하기 위해서는 계단의 농도를 측정하여  $\frac{D_a - D_b}{D_a + D_b}$  ( $D_a$ : 조영제가 없을 때의 농도,  $D_b$ : 조영제가 있을 때의 농도)식에 의해 대조도를 산출하였다.

## III. 결과 및 고찰

진단방사선 영역에서 중원소 필터를 사용하여 X선 선속을 변화시켜 환자의 피폭선량을 감소하고 조영제의 흡수를 극대화시켜 화질개선에 대해서 연구한 결과는 다음과 같다.

Al, Cu, Gd과 Ho filter 사용시 X선선질이 변화되는 것을 알아보기 위해서 측정한 값은 Fig. 2와 같다. 저관전압에서는 필터에 따른 선질의 변화가 크지 않으나 관전압이 높아짐에 따라 그 효과는 여과판마다 다르게 나타났다. 종전에 이용되고 있는 Al filter에서는 관전압이 60 kVp에서는 변화가 거의 없으나, 관전압이 70, 80, 90, 100 kVp에서는 1.35~1.85 kVp가 증가되고, Cu filter에서도 두께가 두꺼워지고, 관전압이 증가할수록 X선선질이 경화되어 평균에너지가 1.50~3.90 kVp로 크게 증가하였다. 그러나 Gd filter는 지시치 관전압과 측정치 관전압은 거의 일치하였고 Ho filter 필터의 경우는 각각 주어진 관전압에서 Al, Cu처럼 beam 경화현상이 보이지 않고 60, 70, 80, 90 kVp에서는 오히려 1.90~4.10 kVp로 감소하는 경향으로 나타났다.

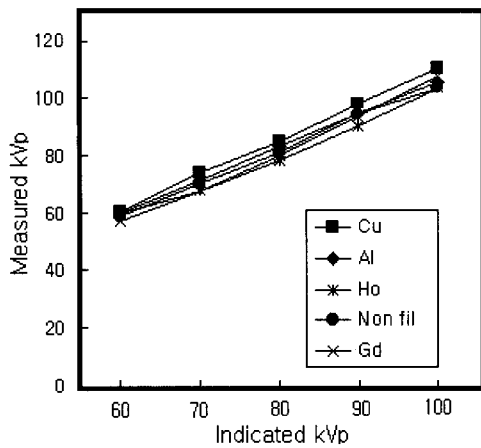


Fig. 2. Variation of kVp with filters.

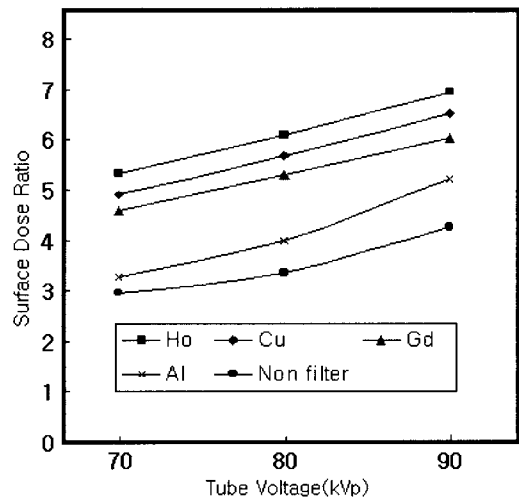


Fig. 4. Transit/Surface dose ratio a function of kVp and filters.

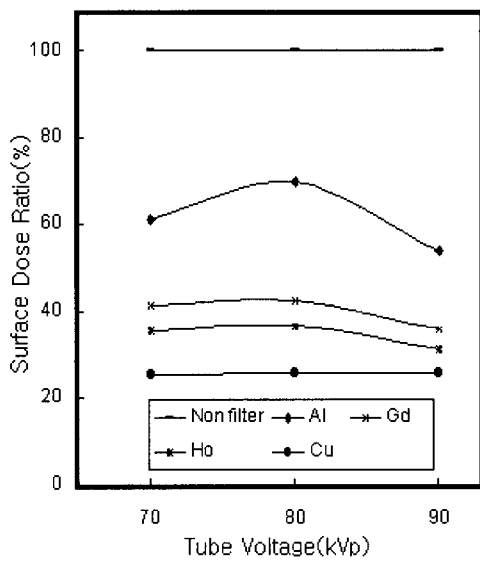


Fig. 3. Surface dose ratio(%) a function of kVp and filters.

Fig. 3, 4는 70, 80, 90 kVp에서 각각 60 mAs을 조사하여 필터를 사용하지 않을 때, 2 mm Al filter, 0.1 mm Gd filter, 0.2 mm Cu filter와 0.105 mm Ho filter 사용시 조사선량의 변화를 부가필터가 없을 때를 기준으로 하여 상대 표면선량비를 보면 Al, Gd, Ho, Cu filter 순으로 작게 나타났고, 투과/표면선량비는 Ho filter 사용시 70, 80 kVp에서 5.30~6.90으로 크게 나타나 증원소 여과판인 Ho filter 사용시 환자피폭선량 감소를 의미한다.

Fig. 5, 6은 각 필터를 사용할 때에 사진상에서 농도 1.0을 나타내는데 필요한 관전류량(mAs) 및 피폭선량(mGy)의 변화를 나타낸 것이다. 상대적인 mAs비는 부가필터가 사용하지 않을 때를 기준으로 Al, Cu, Gd, Ho filter 순으로 크게 나타났으며, Ho filter는 2.07~2.2배로 X선관의 부하를 나타내는 mAs 비가 가장 높게 나타났다. 그러나 최근 X선관 용량의 대응량화로 Ho filter에 의

한 X선관의 부하는 그다지 문제화되지 않는다. 또한, 환자피폭선량의 기준이 되는 표면선량비는 Al, Gd, Ho, Cu filter 순으로 작게 나타나 증원소 필터 사용시 환자피폭선량이 감소됨을 알 수 있다.

Fig. 7, 8, 9, 10는 일반촬영시 형광량계로 각 필터의 대조도 값을 조영제 계단과 kVp 변화에 따라 구한 것으로, 조영제의 두께가 증가하면 대조도는 전체적으로 증가하고, 여과판별 대조도는 Cu, Al, Gd, Ho filter 순으로 크게 나타났다. Fig. 11, 12, 13는 DSA system에서 DSA phantom을 가지고 kVp 변화에 따른 대조도 값을 구한 결과를 나타낸 것이다. 조영제의 두께가 두꺼워지면 대조도가 증가하고, kVp가 증가하면 전체적인 대조도는 떨어지고 여과판들의 대조도 차이는 DSA system이 일반촬영에 비하여 크며 68 kVp에서 그 값의 차가 최대가 되었다. 또한, 증원소 여과판인 Gd, Ho filter는 X선질 경화 필터인 Al, Cu filter에 비해 대조도 값이 크게 나타났다. 이러한 결과는 요오드를 사용한 혈관조영촬영에서 조영제(iodine)와 중금속여과판(holmium, Ho)의 질량흡수계수를 비교하여 중금속여과판의 유용성과 관련을 나타낸 Fig. 14에 처럼 iodine의 감약계수(흡수)는 K흡수단인 33.17 keV에서 급증하고 반대로 Ho에서는 33~55.6 keV 범위에서 흡수가 감소하여 입사X선 에너지가 많아지고 55.6 keV(Ho의 K흡수단)이상에서는 흡수가 급증하여 이 부분 이상의 에너지가 거의 없어지게 되는데 이러한 에너지 범위를 Ho의 "window"라 한다. Ho 여과판의 "window"에너지범위는 조영제에서 고흡수율을 보이는 에너지와 중첩되는 까닭에 매우 중요한 의미를 갖는다. Ho의 "window"와 조영제인 iodine의 고흡수에너지 부분이 중첩되는 에너지범위를 "overlap window"라 한다. "overlap window"는 20 keV 범위인데 이를 효과적으로 이용하면 중금속여과판을 사용하여 Al여과판일 때 보다 iodine 또는 barium

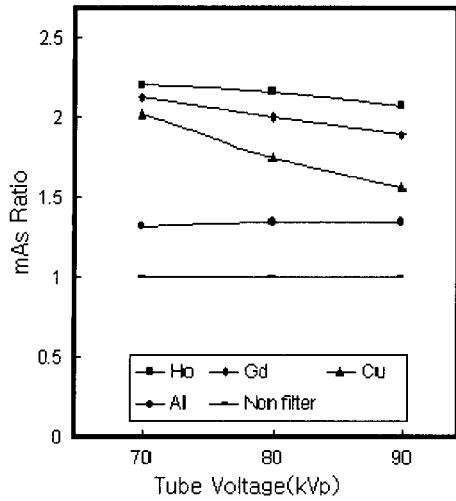


Fig. 5. mAs ratio a function of kVp and filters in density 1.0

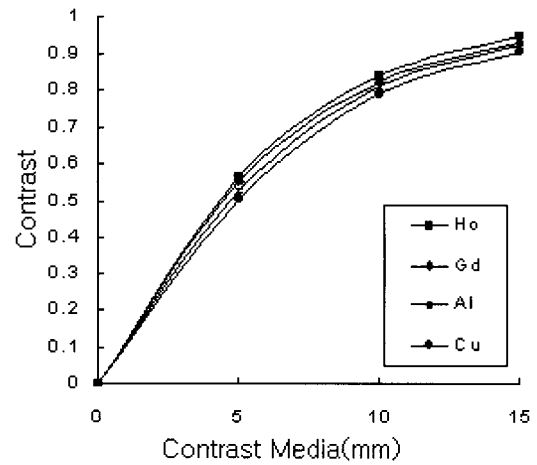


Fig. 8. Variation of contrast with filters(70 kVp).

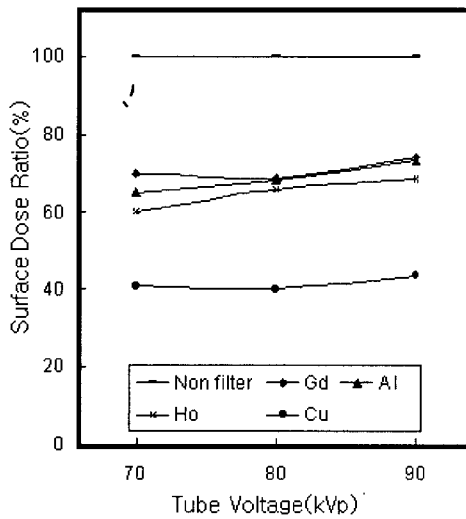


Fig. 6. Surface dose ratio(%) a function of kVp and filters in density 1.0.

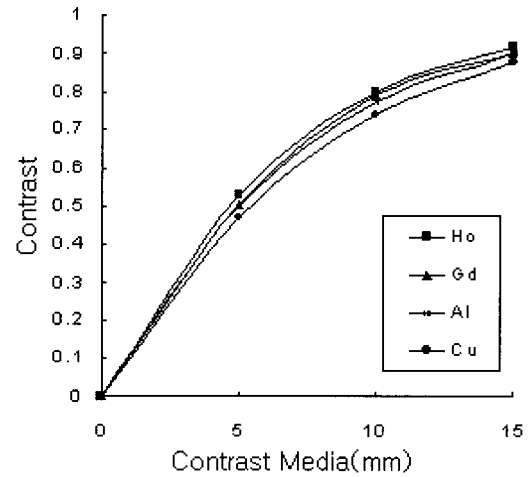


Fig. 9. Variation of contrast with filters(80 kVp).

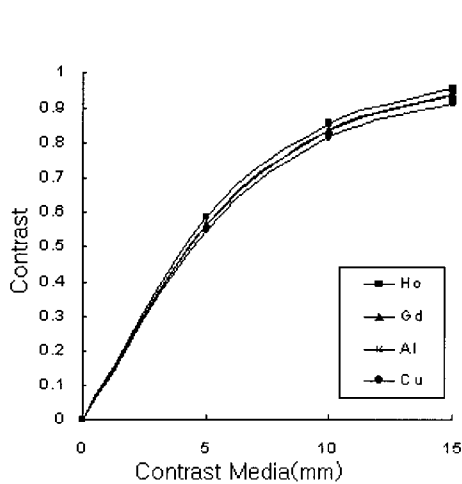


Fig. 7. Variation of contrast with filters(60 kVp).

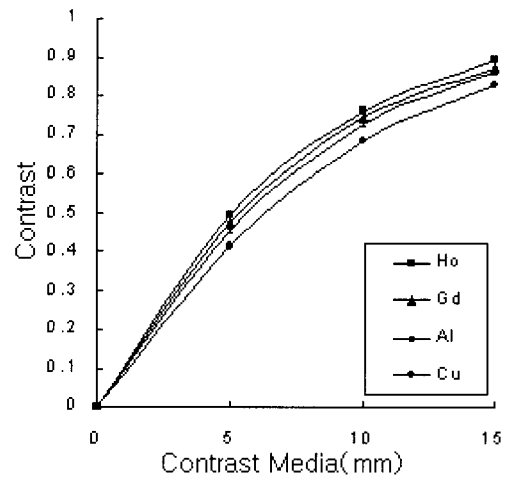


Fig. 10. Variation of contrast with filters(90 kVp).

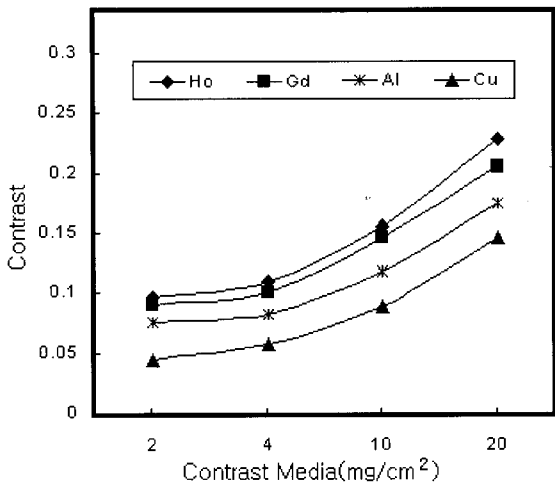


Fig. 11. Variation of contrast with filters(DSA, 68 kVp).

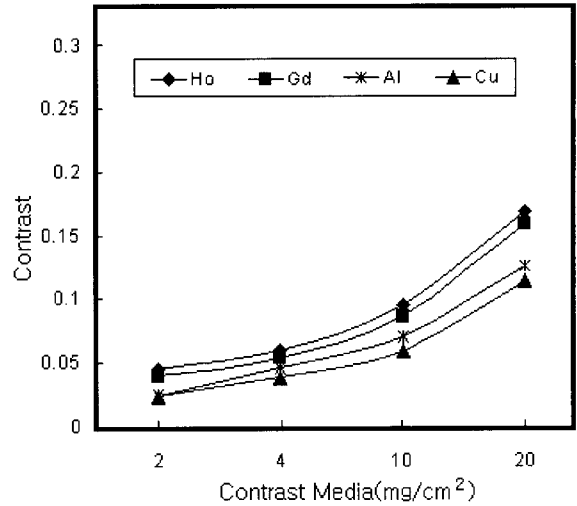


Fig. 13. Variation of contrast with filters(DSA, 78 kVp).

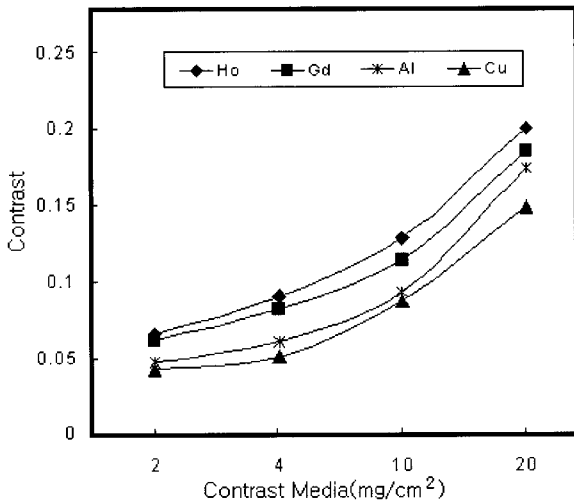


Fig. 12. Variation of contrast with filters(DSA, 73 kVp).

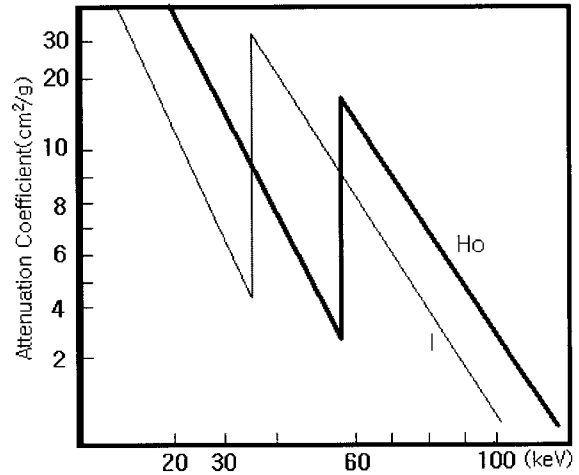


Fig. 14. Mass Attenuation Coefficients of holmium and iodine

조영시 대조도 향상을 도모하는데 매우 중요하여 이론과 일치하였다. 이는 광전효과가 많이 발생할 때 감약이 심하고 콤퓨턴 반응이 많이 일어날 때는 감약이 감소하는 현상을 이용한 것이다. 혈관조영촬영시 중원소 필터인 Ho 사용은 화질을 결정하는 주요인자인 대조도를 높게 하였고, 표면선량은 필터를 사용하지 않을 때 보다 약 65% 정도 낮아져 환자의 피폭선량 경감에 효과적인 것으로 사료되며, X선관의 부하는 2.2배 정도 높게 나타났으나 최근에는 X선관의 대용량화로 그다지 문제가 되지 않는다.

#### IV. 결 론

본 논문은 X선 흡수 차를 크게 하고 피폭선량을 감소할 목적으로 X선 선속 경화 필터인 Al, Cu와 중원소 필

터인 Gd, Ho를 사용해서 관전압 변화, 조사선량 변화, 동일한 농도를 내는데 필요한 관전류량 및 선량의 변화를 측정하고, 조영제를 사용했을 때의 여과판 물질별 대조도를 측정하여 X선 사진영상의 화질개선과 환자 피폭선량을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 중원소 필터인 Ho, Gd filter는 Cu, Al filter에 비해 X선 선질의 경화 (beam hardening)가 나타나지 않고, 환자의 피폭선량을 의미하는 투과/표면선량비는 일정한 노출에서 Al, Cu, Gd, Ho filter 순으로 크게 나타났으며 특히 여과판을 사용하지 않을 때에 비해 Ho 여과판 사용시 1.86배의 환자 피폭선량 감소를 의미한다. 일반촬영과 DSA system 사용시 모두 X선 상의 대조도는 Cu, Al, Gd, Ho filter 순으로 크게 나타나 중원소 여과판 사용시 X선 상의 화질 개선에 효과적으로 나타남을 알 수 있었다. 사진농도 1.0을 나타내는데 X선관의 부하는 Al, Cu, Gd, Ho filter 순

으로 크게 나타났고, 표면선량비는 Al, Gd, Ho, Cu filter 순으로 작게 나타났다. Ho 여과관 사용시 2.2배의 X선관의 부하를 가져왔으나 최근에 대용량의 X선관 사용으로 그다지 문제가 되지 않는다. 그리고 표면선량비는 Non-filter에 비하여 65% 감소를 가져와 환자 피폭선량 감소에 효과적임을 알 수 있었다. 본 연구의 결과로 보아 임상에서 소화기계와 혈관조영 촬영시 Ho 여과관 사용은 X선 영상의 화질개선 및 환자피폭선량 감소에 효과적으로 나타남을 알 수 있다.

## 참 고 문 헌

1. International Commission on Radiological Protection 1987 Statement from the 1987 Como Meeting of the ICRP.
2. 大塚昭義 : X線検査におは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), pp. 760~778, 1983.
3. 中村實 : X線撮影におはる 被曝量減少について, 中村博士業績集, pp. 267~341, 1977.
4. P. H. Heintz, S. W. Johnsen and N. F. Peek : Neutron Energy Spectra and Dose-Distribution Spectra of Cyclotron-Produced Neutron Beams, Med. Phys., 4(3), pp. 252~254, 1977.
5. F. Kelcz and C. A. Mistretta : Absorption-Edge Fluoroscopy Using a Three-Spectrum Technique, Med. Phys., 3(3), pp. 347~356, 1976.
6. Kook L. Yip, Bruce R. Whiting, Thomas E. Kocher, David P. Trauernicht and Richard L. Van Metter : Understanding the Relative Sensitivity of Radiographic Screens to Scattered Radiation, Med. Phys., 23(1), pp. 1727~1737, 1996.
7. S. J. Riederer and C. A. Mistretta : Selective Iodine Imaging Using K-edge Energies in Computerized X-ray Tomography, Med. Phys., 4(6), pp.501~512, 1977.
8. R. A. Kruger, S. J. Reindeer and C. A. Mistretta : Relative Properties of Tomography, K-edge Imaging and K-edge Tomography, Med. Phys., 4(3), pp. 256~271, 1977.
9. R. E. Shuping and P. F. Judy : Energy Absorbed in Calcium Tungstate X-ray Screens, Med. Phys., 4, pp. 239~243, 1977.
10. M. H. Chakera and R. F. Fleay, P. W. Henson and S. M. Cole : Clinical Notes Dose Reduction in Radiology Using Heavy Metal Foils, British Journal of Radiology, 55, pp. 853~858, 1982.
11. Burgess A. E. : Physical Measurements of Heavy Metal Filter Performance, Med. Phys., 12, pp. 225~231, 1985.
12. Arkins H. L., Fairchild R. G., Robertson J. S. and Greenburg D. : Effect of Absorption Edge Filters on Diagnostic X-ray Spectra, Radiology, 49, pp. 210~214, 1983.
13. Villagran J. E., Hobb B. B. and Taylor K. W. : Reduction of Patient Exposure by Use of Heavy Elements of Radiation Filters in Diagnostic Radiology, Radiology, 127, pp. 249~254, 1978.
14. A. Workman and A. R. Cowen : Signal, Noise and SNR Transfer Properties of Computed Radiography, Phys. Med. Biol., 38, pp. 1789~1808, 1993.
15. M. A. Smith, D. Sutton and P. Tothill : Comparison between 153Gd and 241Am, 137Cs for Dual-Phantom Absorptiometry of the Spine, Phys. Med. Biol., 28(6), pp. 709~721, 1983.