

디지털 진단방사선촬영에서 부가여과판 사용에 따른 피폭선량 감소와 화질 개선

문수정 · 김영근 · 이성길

광주보건대학 방사선과

Reduction of Patient Dose Exposure and Improvement of Image Quality by Use of Additional Filtration in Digital Radiology

Su Jeong Moon · Young Keun Kim · Seong Kil Lee

Department of Radiological Technology, Gwangju Health College University

Abstract

This study is mainly for the reduction of exposure dose by using a heavy elements filter(Gd) in the digital radiology. They contained heavy elements filter of Gd and X-ray beam hardening filters such as Al and Cu. According to the results of experimental evaluation, X-ray property was not changed with variety of kVp in the case of the Gd filter. The surface dose and absorption dose were increased in order of Cu and Al. The contrast of image showed the higher value in order of Cu, Al and Gd. While the use of Gd has increased the numerical value of the CR image, and grayscale has decreased noise value of the DR image.

Key Words : Additional filter, Heavy elements filter, Photoelectric effect, Patient dose

I. 서론

디지털 의료방사선 영역에서 화질 개선 과 환자 피폭선량 감소는 중요한 과제이다. 방사선에 의한 피폭선량의 문제제기는 국제방사선방어위원회(ICRP)¹의 선량제한 권고로부터 시작하여 국내외에 이미 많은 연구가 보고되었다.² 방사선 검사 시 받는 환자의 피폭선량은 CT(Computed Tomography)를 포함한 의료용 방사선

검사건수는 세계적으로 연간 5~10% 증가하고 있으며 이러한 증가율로 계산하면 6~8년마다 약 2배의 증가를 이루게 되므로 국민의 의료피폭을 현재 상태로 유지하기 위해서는 약 7년마다 검사 당 노출되는 피폭선량을 반감시킬 필요에 도달하게 된다.³

X선 촬영에 사용되는 선질은 화질의 대조도와 피폭선량을 결정하는 중요한 인자로 촬영 관전압과 부가필터에 의해 영향을 받는다. 일반적으로 의료용X선관에서 방출되는 X선 에너지는 연속 스펙트럼으로 인체를 투과하지 못하는 저 에너지부터 상의 contrast를 저해하는 고 에너지 성분까지 포함되어 있다.^{4~5} 저 에너지 성분은 화상형성에는 기여하지 못하고 피사체에서 흡수되어 환자피폭의 원인이 되므로 이러한 성분을 제거하기 위해서 알루미늄(Al), 구리(Cu) 등의 여과판을 이용하여 왔다.^{6~10} X선의 실효에너지를 증가시키기 위해서 관전

Received February 25, 2010, 1st Revised March 10, 2010,

Accepted April 13, 2010.

Corresponding Author: 김영근

(506-701) 광주광역시 광산구 신창동 683-3번지

광주보건대학 방사선과

Tel: 062) 958-7664 Fax: 062) 958-7669

E-mail: kimyk@ghc.ac.kr

압을 높이는 것보다 금속의 부가필터를 삽입하는 것이 효과적이어서 각종 원소를 소재로 한 부가필터의 연구가 계속 진행 중이다. 중원소인 Gd은 K흡수단이 50.2 keV로 1차 X선의 저·고 에너지 영역을 흡수하고 디지털 방사선영역에서 흡수체로 사용되는 CR(Computed Radiography)과 DR(Digital Radiography)의 흡수체로 쓰이는 바리움(Ba)과 셀레리늄(Se)이 필요로 하는 에너지영역을 선택적으로 투과하는 특성을 가지고 있어 지금까지 이용되던 알루미늄과 구리 필터와는 다른 효과를 가지고 있어 중원소 여과판 사용은 상의 대조도 개선과 환자 피폭선량 경감에 기여할 것이다.^{4,11~15}

본 논문에서는 X선 선속 경화 필터인 Al, Cu와 중원소 필터인 Gd을 사용해서 관전압 변화, 조사선량 변화, 동일한 농도를 내는데 필요한 관전류량 및 선량의 변화를 측정하였고, 조영제를 사용했을 때의 여과판 물질별 대조도를 측정하고, 팬텀을 사용하여 디지털 영상의 화질개선과 환자 피폭선량 경감효과를 알아보았다.

II. 실험 기기 및 방법

1. 실험기기

- 1) X선발생장치 : DRF-150-500, VDX-150-600
- 2) CR Reader : Kodak DirectView CR 850
- 3) 선량계 : PMX-III(RTI, Serial No. 1058), Unfors (Mult-O-Meter-470L)
- 4) 형광량계 : Torex(EY-1002D)
- 5) 관전압 측정기 : Multi-Function Meter(RMI, Model 240A)
- 6) 흡수체 : 황산바륨(SOLOTOP-HD 96% w/w)
- 7) DR phantom : Pehamed, DIGRAD A+KL 24070948 Test phantom of DR
- 8) CR phantom : Kodak DirectView TOTAL QUALITY TOOL(4634)
- 9) 여과판 : Al filter(2~10 mm)
Cu filter(0.1~1.0 mm)
Gd filter(0.1~2.0 mm)
- 10) 자동현상기 : DSP 5000
- 11) 필름/증감지 : Konica AX/Okamoto DMS
- 12) 농도계 : X-Rite(Model 301)
- 13) 피사체 : Acryl판(30 cm×30 cm×5~18 cm)

2. 실험방법

1) X선 선질의 변화 측정

Al, Cu, Gd필터 사용할 때 선질이 변화되는 것을 알기 위해서 Non-Filter, 2.0, 4.0, 8.0 mm Al filter, 0.1, 0.3 0.6 mm Cu filter, 그리고 Gd filter 0.1~0.2 mm을 사용하고, 관전압 60~100 kVp에서 Multi-function meter로 측정하였다. 그 block diagram은 Fig. 1과 같다.

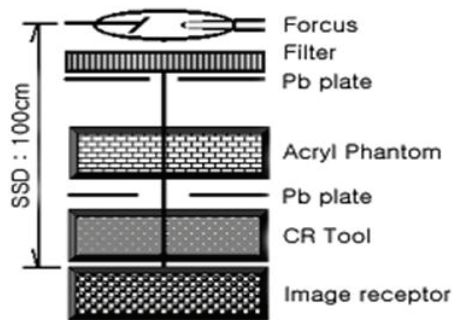


Fig. 1. 실험기구의 구역 도표

2) X선 선량의 변화 측정

각 필터를 사용할 때에 조사선량이 변화되는 것을 알기 위해서 두께 18 cm의 아크릴 수지판을 쓰고 초점에 서 투과선량 측정 점까지는 100 cm, 관전압 70·80 kVp, 관전류 200 mA, 조사시간 0.3sec로 고정하고 표면선량과 투과선량을 PMX-III로 측정하였다. 또한 각 필터 사용할 때 적절한 촬영조건을 산출하기 위해 관전압 80 kVp에서 농도 1.0을 내는데 필요한 관전류량을 형광량계로 구한 다음 그 조건으로 촬영할 때의 표면선량과 투과선량 및 관전류량을 측정하여 그 평균치를 산출하여 측정치로 하였다.

3) 여과판 물질별 대조도 변화 측정

대조도 비교를 위한 흡수체는 황산바륨을 희석하여 사용하였고, 그 두께를 0~20 mm로 변화시켜 가며 각 관전압에서 각종 필터 사용 시 형광량을 측정하여 Da-Db/Da(Da : 피사체 없을 때의 형광량, Db : 피사체 있을 때의 형광량)식에 의해 대조도를 산출하였다.

4) CR 영상에서 화질 측정

CR 영상에서 화질의 변화를 측정하기 위하여 사용된 부가 필터는 Non-Filter, 2.0~8.0 mm Al filter, 0.1~0.6 mm Cu filter와 0.1 mm, Gd filter 0.1~0.2 mm

그리고 피사체는 Acryl판(30 cm×30 cm×18 cm)을 사용하고, 노출조건은 74 kVp에서 각 필터마다 10 mR으로 하며, SID는 180, Kodak DirectView TOTAL QUALITY TOOL(4634)을 사용하여 영상의 화질변화를 측정하였다. 또한 DR 영상에서 화질의 변화를 측정하기 위하여 사용된 부가 필터는 Non-Filter, 2.0~8.0 mm Al filter, 0.1~0.6 mm Cu filter, Gd filter 0.1~0.2 mm를 사용하였으며, 노출조건은 70 kVp에서 각 필터마다 10~20 mAs로 하며, Pehamed-DIGRAD A+KL 24070948 팬텀을 사용하여 영상의 화질변화를 측정하였다.

Ⅲ. 실험결과 및 고찰

Al, Cu, Gd필터 사용 시 선질이 변화되는 것을 알기 위해서 측정한 결과 Table 1과 같으며, 그 경향은 Fig. 2와 같다. 저 관전압에서는 필터에 따른 선질의 변화가 크지 않으나 관전압이 높아짐에 따라 그 효과는 현저하게 나타났다.

중전에 이용되고 있는 2.0mm Al 필터에서는 관전압 60 kVp에서는 변화가 별로 없으나 필터가 두꺼워지고 관전압이 70, 80, 90, 100 kVp에서는 2.6~8.2 kVp가 증가되고 있고, 0.1, 0.3, 0.6 mm Cu 필터에서도 두께가 두꺼워지고 관전압이 증가할수록 X선 선질이 경화되어 평균에너지가 증가하여 허 등³⁻⁶의 연구결과와 일치하였다. 그러나 Gd필터는 관전압 증가에도 X선 선질은 변하지 않았다.

Table 2는 각각 70, 80 kVp에서 필터를 사용하지 않을 때, 2 mmAl 필터와 0.3 mm Cu필터, 0.1~0.2 mm Gd필터 사용 시 필터의 조사선량의 변화를 측정하고 그 평균치를 산출하여 측정치로 하였다.

부가필터가 없을 때 기준으로 하여 상대표면선량비를 보면 70, 80 kVp 모두 Cu < Gd < Al < Non-filter순으로 나타났다. 표면선량과 투과선량은 kVp가 증가할수록 높게 나타났다. 표면선량에 대한 투과선량비는 Non-filter < Al < Gd < Cu순으로 측정되었다.

Table 1. 각종 필터 사용시 관전압의 변화

Filter kVp	Non-Filter	Al(mm)			Cu(mm)			Gd(mm)
		2	4	8	0.1	0.3	0.6	0.1
60	58.35	59.85	60.24	60.7	59.89	61.75	63.75	57.85
70	69.20	71.50	72.92	73.7	72.15	74.79	77.12	67.75
80	80.12	83.10	84.52	86.70	83.75	86.75	90.75	79.90
90	93.22	94.64	96.75	99.32	96.26	99.3	104.87	93.65
100	101.2	105.55	107.8	112.6	107.7	110.57	119.55	104.65

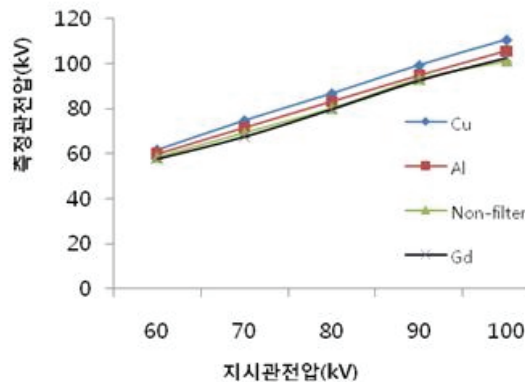


Fig. 2. 각종 필터 사용시 관전압의 변화

Table 2. 각종 필터 사용 시 조사선량의 변화

kVp	구분	Filter	표면선량(mGy)	투과선량(mGy)	투과/표면선량비(%)	표면선량비(%)
70		Non-filter	6.92	0.19	2.74	100.00
		Al(2mm)	4.24	0.13	3.06	61.28
		Cu(0.3mm)	1.76	0.09	5.11	25.43
		Gd(0.1mm)	2.85	0.13	5.306	35.40
80		Non-filter	8.81	0.30	3.40	100.00
		Al(2mm)	5.26	0.21	3.99	59.70
		Cu(0.3mm)	2.51	0.15	5.98	28.49
		Gd(1.1mm)	3.73	0.197	5.28	42.35

Table 3. 각종 필터 사용할 때에 농도 1.0을 내는데 필요한 관전류량과 피폭선량의 변화

Film	구분	kV	mAs	표면선량	흡수선량	투과선량	표면선량비(%)	mAs 비
	Non - filter	80	20	3.592	3.485	0.107	100.00	1
	Al(mm) 2.0	80	25	2.290	2.815	0.104	63.75	1.25
	Cu(mm) 0.3	80	30	1.246	1.155	0.091	34.68	1.5
	Gd(mm) 0.1	80	30.7	2.177	2.032	0.145	60.60	1.53

Table 3은 80 kVp에서 각각의 필터를 사용할 때에 동일한 농도를 내는데 필요한 관전류량 및 피폭선량의 변화를 측정하고 있다. 상대적인 mAs 비는 부가필터가 없을 때에 비해 Al 필터는 1.25배 Cu필터는 1.5배와 Gd필터는 1.53배로 X선관의 부하는 Gd필터가 가장 크게 나타났다.

또한, 동일 농도를 내는데 표면선량비와 환자의 피폭의 원인이 되는 피사체 내의 흡수선량은 $Cu < Gd < Al < non-filter$ 필터 순으로 나타났다.

Fig. 3, 4, 5는 각 필터에서 조영제계단과 kVp 변화에 따라 형광량을 측정하고 실험 3)의 계산식을 이용하여 대조도 값을 구한 결과를 나타낸 것이다.

60, 70, 80 kVp에서 조영제의두께가두꺼워지면대조도가증가하고, X선질 경화 필터인 Al, Cu 필터에 비해 Gd 필터에서 대조도 값이 크게 나타났다. 이 결과는 Fig. 6과 같이 Ba의 감약계수는 K흡수단인 37.4 keV이상에서 최대가 되고, 반대로 Gd에서는 27~50.2 keV에서 흡수가 감소하여 입사 X선 에너지가 많아지고, 50.2

keV(Gd의 K흡수단) 이상에서는 흡수가 급증하여 이 부분 이상에서는 상의 대조도의 저하요인인 고 에너지가 거의 없어지기 때문이다. 이는 광전효과가 많이 발생할 때 감약이 심하고 콤프톤 반응이 많이 일어날 때는 감약이 감소하는 현상을 이용한 것이다.

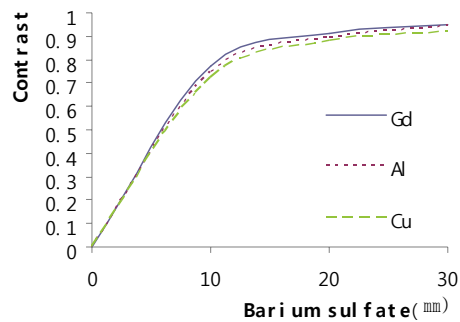


Fig. 3. 각종필터 사용시 대조도의 변화(60 kVp)

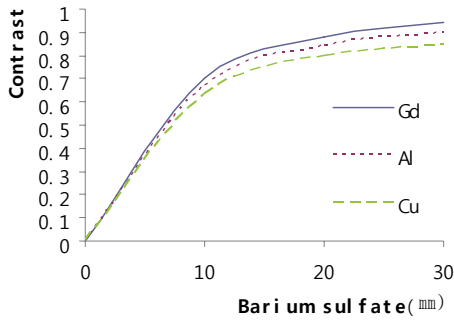


Fig. 4. 각종필터 사용시 대조도의 변화(70 kVp)

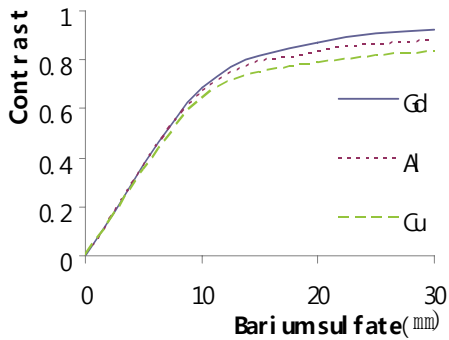


Fig. 5. 각종필터 사용시 대조도의 변화(80 kVp)

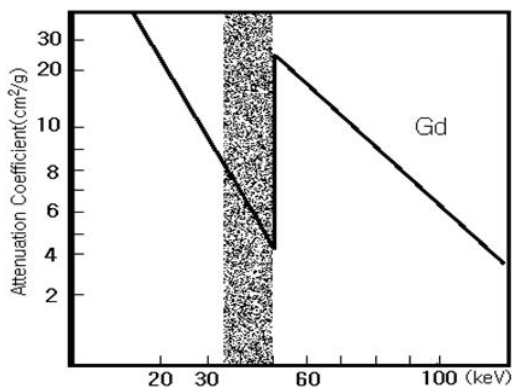


Fig. 6. 가돌리늄과 바륨의 물질감약계수

다음으로 Gd을 부가필터로 사용 할 때 Ba의 대조도가 증가하는 실험 결과를 CR영상에 응용한 결과이다.

Fig. 7은 부가필터를 사용하지 않을 때와 Gd을 부가필터로 사용 할 때에 VIEW LOG를 산출하기 위하여 사용된 Kodak DirectView TOTAL QUALITY TOOL(4634)의 영상이다.

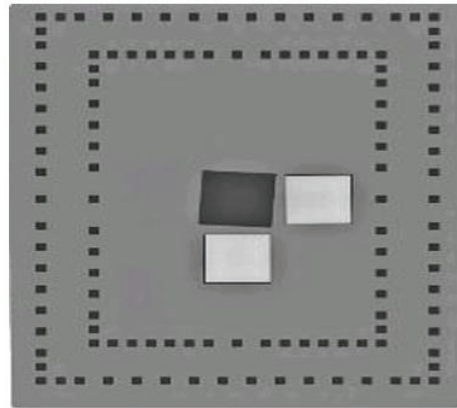


Fig. 7. Kodak Direct View TOTAL QUALITY TOOL

```

SCAN NON-LINEARITY INSPECTION
... using each row/column of measured landmark locations
... percentage relative to shorter side length of image (235.5 mm)
peak-to-peak deviation:
longfast: 0.18%
shortslow: 0.04%

Galvo shape (100x magnification):
7 8 6 2 -3 -6 -8 -8 -6 -4 -2 1 4 7 9

EXPOSURE RESPONSE INSPECTION -----
... using three different attenuations around image center
measured: 911.4 ( 29.7) 1623.1 ( 10.9) 2901.6 ( 4.2)

MTF INSPECTION ----- pixel_p_err
... using two slanted edges

SCAN NON-LINEARITY INSPECTION
... using each row/column of measured landmark locations
... percentage relative to shorter side length of image (344.1 mm)
peak-to-peak deviation:
longfast: 0.13%
shortslow: 0.02%

Galvo shape (100x magnification):
-1 5 6 3 -0 -3 -6 -6 -6 -4 -2 2 5 6 6 4 0 -3 -5

EXPOSURE RESPONSE INSPECTION -----
... using three different attenuations around image center
measured: 1182.7 ( 16.9) 2153.2 ( 6.6) 2882.2 ( 4.4)

MTF INSPECTION ----- pixel_p_err
... using two slanted edges
    
```

Fig. 8. Gd 필터 사용과 필터를 사용하지 않았을 때의 변이

Fig. 8은 기구의 실험 결과를 보기위한 VIEW LOG이다. VIEW LOG에서 911.4(29.7=0.19 mR 투과 시), 1623.1(10.9=2.11 mR 투과 시), 2901.6(4.2=10.0 mR 투과 시)은 부가필터를 사용하지 않을 때 그레이 스케일 값이고 1182.7(29.7), 2153.2(10.9), 2882.2(4.2)은 Gd을 부가필터로 사용 할 때 값이다. 이 결과 부가필터를 사용하지 않을 때 보다 Gd을 부가필터로 사용 할 때 각각의 그레이 스케일 값이 911.4(29.7), 529.5(10.9), 19.4(4.2) 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 BaFX:Eu를 이미지 플레이트로 사용하는 CR에서 Ba이 X선 흡수하는 물질로 쓰여 지고 있기 때문이다.

Fig. 9는 DR 화질을 평가하기 위한 DIGRAD A+KL 24070948 Test phantom 영상이며, Fig. 10은 필터를 사용하지 않았을 때 DIGRAD A+KL 24070948 Test phantom에서 해상력을 나타내며, Fig. 11은 가돌리늄 필터를 사용했을 때 DIGRAD A+KL 24070948 Test phantom에서 해상력이다. Fig. 10, 11의 영상에서 나타난 바와 같이 해상력의 차이는 크지 않았으나 노이즈는 가돌리늄 필터를 사용하였을 때 감소하였다. 이는 Fig. 6과 같이 가돌리늄필터 사용 시 고에너지 영역을 흡수하여 산란선이 저하되어 상의 노이즈가 감소한 것으로 사료된다.

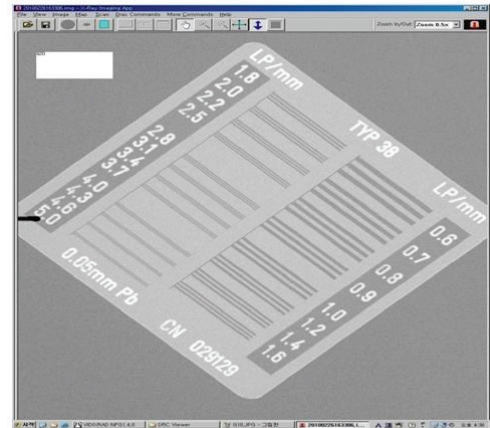


Fig. 11. 가돌리늄 필터를 사용했을 때 DIGRAD A+KL 24070948 Test phantom에서 해상력

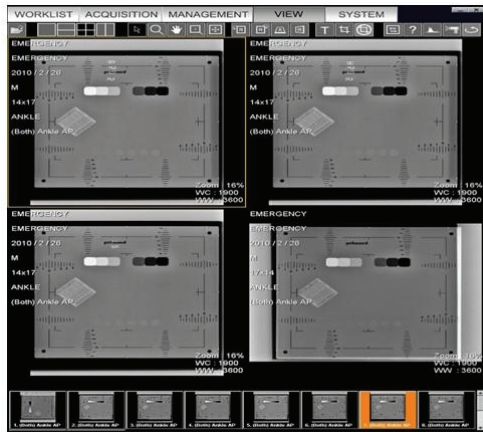


Fig. 9. Pehamed, DIGRAD A+KL 24070948 Test phantom of DR

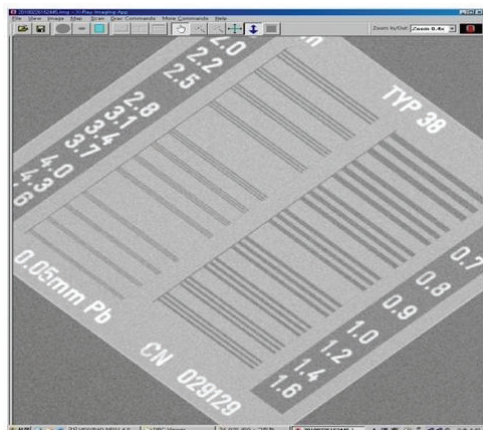


Fig. 10. 필터를 사용하지 않았을 때 DIGRAD A+KL 24070948 Test phantom에서 해상력

IV. 결론

디지털방사선촬영 영역에서 중원소인 Gd필터와 X선 질 경화 필터인 Al, Cu필터를 사용해서 그 특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. kVp 변화에도 중원소 필터(Gd)는 X선 선질의 변화가 없었다.
2. 표면선량 및 흡수선량은 Cu, Gd, Al순으로 크게 나타났다.
3. 상의 대조도는 Cu, Al, Gd순으로 크게 나타났다.
4. Gd 필터 사용 시 CR영상 에서는 그레이 스케일 값이 증가하고 DR 영상에서는 노이즈가 감소하였다.

참고문헌

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 1983; 39(5): 760~778.
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 1977;267~341.
4. Heintz PH, Johnsen SW, and Peek NF. Neutron Energy Spectra and Dose-Distribution Spectra of Cyclotron-Produced Neutron Beams, Med. Phys 1977; 4(3): 252~254.

5. Kelcz F and Mistretta CA. Absorption-Edge Fluoroscopy Using a Three-Spectrum Technique, *Med. Phys* 1976; 3(3): 347~356.
6. Yip KL, Whiting BR, Kocher TE, Trauernicht DP and Van Metter RL. Understanding the Relative Sensitivity of Radiographic Screens to Scattered Radiation, *Med Phys* 1996; 23(1): 1727~1737.
7. Riederer SJ and Mistretta CA. Selective Iodine Imaging Using K-edge Energies in Computerized X-ray Tomography, *Med. Phys.*, 1977; 4(6), 501~512.
8. Kruger RA, Reindeer SJ and Mistretta CA. Relative Properties of Tomography, K-edge Imaging and K-edge Tomography. *Med. Phys.*, 1977;. 4(3): 256-271.
9. Shuping RE and Judy PF. Energy Absorbed in Calcium Tungstate X-ray Screens, *Med. Phys*, 1977; 4: 239~243.
10. Chakera MH and Fleay RF, Henson PW and Cole SM. Clinical Notes Dose Reduction in Radiology Using Heavy Metal Foils, *British Journal of Radiology* 1982; 55: 853~858.
11. Burgess AE. Physical Measurements of Heavy Metal Filter Performance, *Med. Phys*, 1985;12: 225~231
12. Arkins HL, Fairchild RG, Robertson JS and Greenburg D. Effect of Absorption Edge Filters on Diagnostic X-ray Spectra, *Radiology*. 1983; 49: 210~214.
13. Villagran JE, Hobb BB and Taylor KW. Reduction of Patient Exposure by Use of Heavy Elements of Radiation Filters in Diagnostic Radiology, *Radiology* 1978; 127: 249~254.
14. Workman A and Cowen AR. Signal-Noise and SNR Transfer Properties of Computed Radiography, *Phys. Med. Biol* 1993; 38: 1789~1808.
15. Smith MA, Sutton D and Tothill P. Comparison between ^{153}Gd and ^{241}Am , ^{137}Cs for Dual-Phantom Absorptiometry of the Spine, *Phys. Med. Biology* 1983; 28(6): 709~721.