

Computed Radiography에서 Additional Filtration Material에 따른 Radiation Dose와 Image Quality의 변화

- Changes of Radiation Dose and Image Quality Due to Additional Filtration Material in Computed Radiography -

대구가톨릭대학교 대학원 방사선학과·대구가톨릭대학교병원 영상의학과¹⁾·

대구보건대학교 방사선과²⁾·고려대학교 대학원 바이오융합공학과³⁾

권순무·조형욱·강영한¹⁾·김부순²⁾·김정수³⁾

— 국문초록 —

필터는 저에너지 X선을 흡수함으로써 평균에너지를 증가시키고, 환자의 피폭선량을 감소시키는 작용을 한다. 본 연구는 Mo과 W 등의 재질이 디지털 방사선영상장치인 CR에서도 사용이 가능한지 SNR, FOM, histogram 등의 영상평가와 선량 측정을 통해 확인하였다. 또한 필터의 재질에 따른 선질측정과 함께 관전압의 변화에 따른 적합한 필터 조합을 찾아보았다. 피부입사선량은 Mo필터가 Cu필터에 비해 42~56%까지 선량 경감효과가 있었고, 투과선량도 Mo필터가 Cu필터보다 1.5배 정도 높게 나타났다. 영상 평가에서 W은 필터로 사용함에 부적절하였으나, Mo은 80 kVp 이상의 관전압에서 영상의 질을 저하시키지 않으면서 선량을 감소시킬 수 있는 필터로 충분히 사용할 수 있음을 확인하였다. 2.0 mmAl+0.1 mmMo은 관전압이 높아질수록 2.0 mmAl + 0.2 mmCu와 histogram width가 거의 같아서, 비교적 높은 관전압인 80, 100, 120 kVp에서는 Mo필터의 사용이 가능하다. 2.0 mmAl + 0.1 mmMo의 SNR은 2.0 mmAl + 0.2 mmCu와 2.0 mmAl+0.1 mmCu의 SNR과도 큰 차이가 나지 않았다. 따라서 디지털 방사선 영상 중 80 kVp 이상을 이용하는 일반촬영에서 Cu를 대신하여 Mo을 필터로 사용하면 Cu에 비해 영상의 질을 저하시키지 않으면서 환자의 피폭선량을 크게 감소시킬 수 있으므로, 실제 임상 of 흉부 촬영 및 고관전압 촬영 등에 충분히 적용할 수 있다고 본다.

중심 단어: Mo filter, Cu filter, image assessment, patient exposure dose

I. 서 론

필터는 저에너지 X선을 흡수함으로써 평균에너지를 증가시키고, 환자의 피폭선량을 감소시키는 작용을 한다. 부가필터를 사용하면 X선의 출력이 모든 에너지 영역에서 감소하지만, 특히 저에너지 X선이 더욱 많이 감소된

다. 따라서 X선 방출 스펙트럼을 고에너지 쪽으로 이동시키며, 선질이 경화되면서 투과력이 증가한다^{1,2)}. 현재 가장 많이 이용하고 있는 Al 필터는 1968년 방사선 방어 및 측정에 관한 미국 협회(NCRP)에서 70 kVp 정도의 관전압 사용 시 필터 효과를 토대로 2.5 mmAl 필터의 사용을 적극 권고하면서부터 가장 널리 이용되어 왔다³⁾. 그 후 구리(Cu) 및 주석(Sn) 등의 금속을 이용하였고, X선의 실효에너지를 증가시키기 위해서 관전압을 높이는 것보다 금속의 부가필터를 삽입하는 것이 효과적이기 때문에 각종 원소를 소재로 한 부가필터의 연구가 계속 진행 중에 있다. 일반적으로 저에너지(10~100 kVp) 영역에서

* 접수일(2014년 11월 3일), 심사일(2014년 11월 7일), 확정일(2014년 12월 1일)

교신저자: 김정수, (136-703) 서울시 성북구 정릉로 161
고려대학교 대학원 바이오융합공학과
Tel : 02-940-2824
E-mail : rtkjs@korea.ac.kr

는 알루미늄을 사용하고, 고에너지(100~140 kVp) 영역에서는 알루미늄과 구리(Al+Cu)의 복합 필터를 재질로 이용한다⁴⁻⁶⁾. Cu 복합필터에 대한 기존 연구에서는 0.1 mmCu를 사용하면 입사에어커마(entrance surface air kerma)를 35%까지 감소시킬 수 있고⁴⁾, 0.2 mmCu 사용 시 ESD를 50%까지 감소시킬 수 있다고 하였다⁵⁾. 또한 120 kVp 이상의 고관전압을 사용하는 흉부 촬영에서 Cu필터를 사용했을 때 영상의 질은 비슷하지만 환자의 피폭선량 경감 효과가 있어 많이 이용되고 있다^{6,7)}. W, Mo 등은 입상의 유방촬영 시 target/filter의 조합으로 사용되고 있는 재질이다. 이들의 원자번호는 각각 74, 43이며, K각 특성 X선이 57 keV, 17 keV로 유방영상의 대조도 개선과 평균 유선 선량의 경감을 목적으로 사용되고 있다⁸⁻¹⁰⁾. 또한 W은 일반촬영의 lumbar spine 촬영 시 부가필터로 이용하면 50% 정도 피부입사선량을 줄일 수 있다는 보고가 있으나 실제로 적용되지는 않고 있다¹¹⁾.

본 연구는 유방촬영 기기에서 이용되고 있는 Mo과 W 등의 필터가 디지털 방사선영상장치인 CR에서도 사용이 가능한지 영상평가와 선량 측정을 통해 확인하고, 관전압의 변화에 따른 최적의 필터 조합을 제시함으로써 환자피폭선량 경감에 도움이 되고자 하였다.

II. 연구방법 및 재료

1. 부가필터에 따른 입사표면선량 및 선질 측정

본 실험에 사용한 X선 발생장치는 LISTEM사의 REX-525R로 장치의 setup은 Fig. 1과 같다. 부가필터와 관전압에 따른 입사표면선량 및 투과선량 측정은 X-ray tube의 조준기(collimator)를 제거한 후(Fig. 1-A) focus to image plate distance(FID)는 100 cm, focal spot 1.0 mm, 그리고 관전류와 조사시간을 각각 200 mA, 0.1 sec로 고정하고 관전압은 60~120 kVp까지 20 kVp 단위로 변화시키면서 측정하였다. 실험을 위해 제작한 부가필터(순도 99.9%)는 크기 $10 \times 10 \text{ cm}^2$, 두께는 알루미늄(Al) 1.0 mm 단위, 구리(Cu)와 몰리브덴(Mo), 텅스텐(W)은 0.1 mm 단위로 제작하였다(Fig. 1-B). 본 연구에서 실험한 부가필터의 조합은 non-filter, 1.0 mmAl, 2.0 mmAl, 2.0 mmAl + 0.1 mmCu, 2.0 mmAl + 0.2 mmCu, 2.0 mmAl + 0.1 mmMo, 2.0 mmAl + 0.1 mmW이고, X선관에 직접 부착해 가면서 측정하였다. X-ray tube의 고유여과(inherent filtration)는 0.9 mmAl Eq.이다. 선량 측정을 위해 인체 등가물질로 제작된 whole body phantom(Kyoto Kagaku

PBU-31)을 이용하였고, 중심 X선의 위치는 요추부(lumbar spine) 3~4번으로 지정하였다. 선량 측정은 FLUKE Biomedical사의 Image Intensifier Ion Chamber 100 cm³(model 773027)와 RAD-CHECK MICRO-R(mode 06-526-5240)를 사용하였고, Fig. 1-C의 a지점에서 입사표면선량, b지점에서 투과선량을 측정하였다. 부가필터 사용에 따른 X선의 선질 변화를 측정하기 위해 선량 측정과 동일한 실험조건에서 인체팬텀 대신 FLUKE Biomedical사의 Digital kVp Meter III Wide Range(model 07-494)를 b지점에 위치시켜 측정하였다.

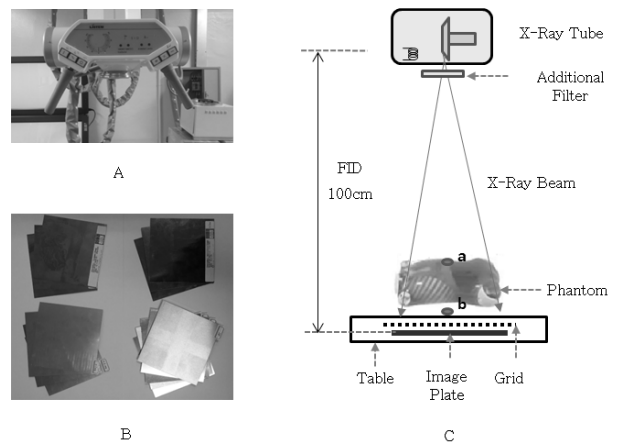


Fig. 1 X-ray tube where collimator is removed to eliminate the effects from additional filtration in x-ray device(A), materials(Al, Cu, Mo, and W) of filters used in this experiment(B), and diagram of this experiment that shows the location relation among x-ray tube head, phantom and IP(C)

2. Histogram width 측정

부가필터 사용에 따른 histogram width 변화를 측정하기 위해 선량측정과 동일한 조건으로 phantom의 3~4번 요추 영상을 획득하였다. Computed radiographic system(CR)의 image plate(IP) reader와 IP는 Agfa사의 CR30-X와 MD4.0(BaSrFBri: Eu phosphor, pixel pitch 100 μm , pixel matrix 3480 \times 4248, 14" \times 17")을 사용하였다. 획득한 영상은 CR 시스템에서 Digital Image and Communications in Medicine(DICOM) data로 출력하여 영상분석 프로그램인 "Image J"(1.46r / National Institutes of Health, USA)로 오픈했다. Region of interest(ROI)는 Fig. 2-A, B와 같이 영상의 제 3 요추 횡돌기(transverse process) 중앙부분에 8,100 pixel(90

pixel×90 pixel) 크기의 사각형으로 지정한 후 Image J의 analyze 기능을 이용하여 histogram width 변화를 분석하였다(Fig. 2-C). ROI는 각각의 영상에서 같은 위치, 크기로 설정하기 위해 동일 좌표값을 적용해 설정하였다.

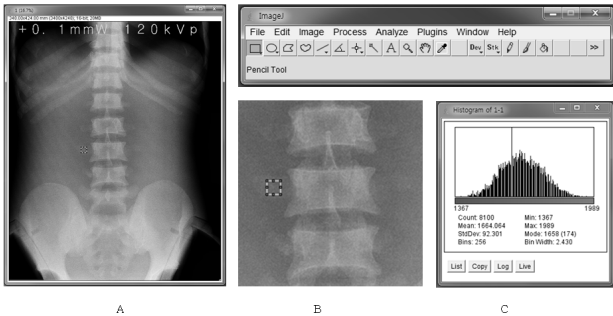


Fig. 2 Figure A shows image acquisition of body phantom depending on each filter and tube voltage, Figure B shows setting of ROI on transverse process of L-spine, and Figure C shows analysis of histogram width with the use of Image J program

3. Signal to noise ratio(SNR) 산출

SNR은 디지털 영상의 화질을 평가하는 기준으로서 SNR이 높을수록 잡음의 상대비가 작아져 영상의 질은 향상된다. 각 영상의 SNR은 histogram width 측정과 동일한 방법으로 영상을 획득하여 ROI를 설정하였다. 영상분석 프로그램을 이용하여 설정된 ROI의 pixel value를 text file로 얻은 후 아래 공식을 이용하여 SNR의 변화를 측정하였다.

$$SNR = \frac{|S_{mean} - N_{mean}|}{\sqrt{\sigma_S^2 - \sigma_N^2}}$$

S_{mean} : 관심영역에서 픽셀의 평균값

σ_i : 관심영역에서 픽셀의 표준편차

4. FOM(Figure of Merit) 계산

선량과 SNR 사이의 균형을 확인하기 위해 figure of merit(FOM)를 측정하였다. FOM은 아래와 같이 정의된다.

$$FOM = \frac{SNR^2}{X}$$

SNR : signal to Noise ratio

X : X-ray exposu

FOM은 영상을 만드는 양자에 사용되는 조사량에 의존

하는 것으로 정의 된다. 높은 FOM 값은 낮은 환자선량으로 양질의 영상의 만드는 지표로 사용된다^{5,13)}.

III. 결 과

1. 부가필터에 따른 입사표면선량 및 투과선량의 차이

관전압과 필터에 따른 입사표면선량과 투과선량 측정 결과는 다음 Table 1과 같다. 입사표면선량은 60 kVp에서 필터를 사용하지 않았을 때 100%를 기준으로 non-filter, 1.0 mmAl, 2.0 mmAl, 2.0 mmAl+0.1 mmCu, 2.0 mmAl+0.2 mmCu, 2.0 mmAl+0.1 mmMo, 2.0 mmAl+0.1 mmW 등의 부가필터를 사용하면 입사선량은 각각 61.54%, 43.59%, 20.51%, 10.27%, 5.13%, 2.56%로 감소하였다. 120 kVp의 고선량보다 60 kVp의 저선량에서 입사선량 감소율이 더 높았다. 특히 0.1 mmMo 필터는 Cu필터에 비해 피부입사선량이 80, 100, 120 kVp에서 각각 56%, 49%, 42% 이어서 상당한 선량 경감효과가 있었고, 투과선량도 Mo필터가 Cu필터보다 1.5배 정도 높게 나타나서, Cu필터보다 선질이 더 경화되는 것을 알 수 있다.

Table 1 Entrance surface dose and transmission dose depending on tube voltage and thickness of additional filters

Tube Voltage	Thickness of added filter	ESD (mGy)	ESD relative dose(%)	Penetrating dose(mGy)	Penetrating dose rate(%)
60 kVp	Non-filter	3.90	100.00	0.06	1.46
	1mmAl	2.40	61.54	0.05	2.08
	2mmAl	1.70	43.59	0.04	2.29
	2mmAl+0.1mmCu	0.80	20.51	0.03	3.13
	2mmAl+0.2mmCu	0.40	10.27	0.02	4.00
	2mmAl+0.1mmMo	0.20	5.13	0.01	5.00
	2mmAl+0.1mmW	0.10	2.56	0.01	6.00
80 kVp	Non-filter	6.30	100.00	0.15	2.38
	1mmAl	4.20	66.67	0.13	3.10
	2mmAl	3.10	49.21	0.12	2.79
	2mmAl+0.1mmCu	1.80	28.57	0.10	5.56
	2mmAl+0.2mmCu	1.20	19.05	0.07	5.50
	2mmAl+0.1mmMo	0.80	12.70	0.05	6.00
	2mmAl+0.1mmW	0.50	7.94	0.03	6.40
100 kVp	Non-filter	8.90	100.00	0.35	3.37
	1mmAl	6.50	73.03	0.31	4.62
	2mmAl	5.00	56.18	0.30	4.00
	2mmAl+0.1mmCu	3.30	37.08	0.28	7.09
	2mmAl+0.2mmCu	2.30	25.84	0.16	7.66
	2mmAl+0.1mmMo	1.70	19.10	0.13	7.65
	2mmAl+0.1mmW	1.00	11.24	0.07	7.40
120 kVp	Non-filter	11.50	100.00	0.42	3.48

1mmAl	8.60	78.78	0.40	4.65
2mmAl	7.00	60.87	0.40	5.71
2mmAl+0.1mmCu	4.90	42.61	0.38	8.60
2mmAl+0.2mmCu	3.70	32.17	0.30	8.12
2mmAl+0.1mmMo	2.80	24.35	0.28	10.71
2mmAl+0.1mmW	1.60	13.91	0.13	8.13

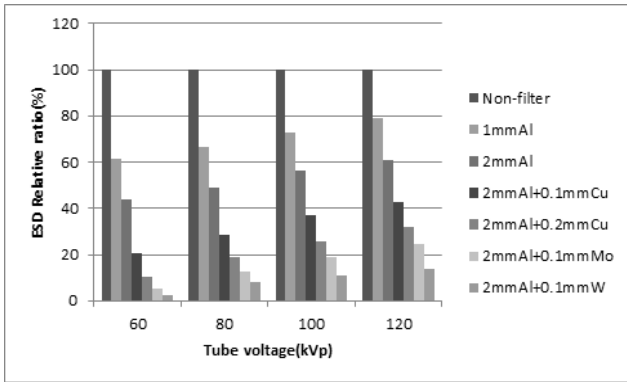


Fig. 3 Relative ratio of entrance skin dose depending on type of additional filter

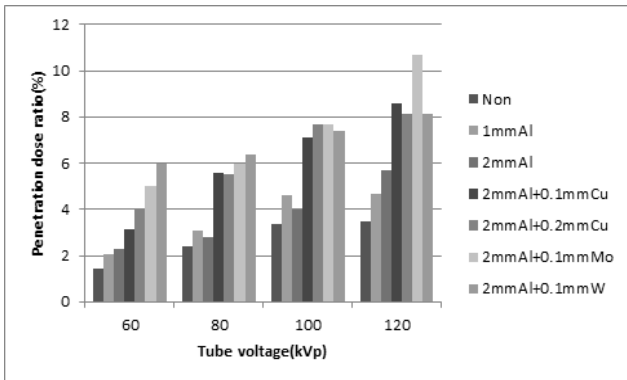


Fig. 4 Comparison of transmission dose rate depending on the type of additional filter

2. X선 선질의 변화

부가필터 사용 시 X선의 선질은 60 kVp의 저관전압에서 non-filter일 때 62.1 kVp 이었고, 2.0 mmAl+0.1 mmCu에서 64.0 kVp, 2.0 mmAl+0.2 mmCu에서 65.5 kVp, 2.0 mmAl+0.1 mmMo에서 66.9 kVp로 변화되었다. 100 kVp에서는 2.0 mmAl+0.1 mmCu가 101.5 kVp, 2.0 mmAl+0.2 mmCu가 104.1 kVp이었고, 2.0 mmAl+0.1 mmMo 107.6 kVp로 변화되어, 타 필터와 비교하면 0.1 mmMo가 현저하게 선질이 경화되고 있음을 알 수 있다. 그리고 2.0 mmAl+0.1 mmW필터의 경우 60~80 kVp까지 선질이 경화되지만 100~120 kVp의 경우 더 이상 경화되지 않고 2.0 mmAl

필터와 비슷한 선질을 보이는 것으로 나타났다.

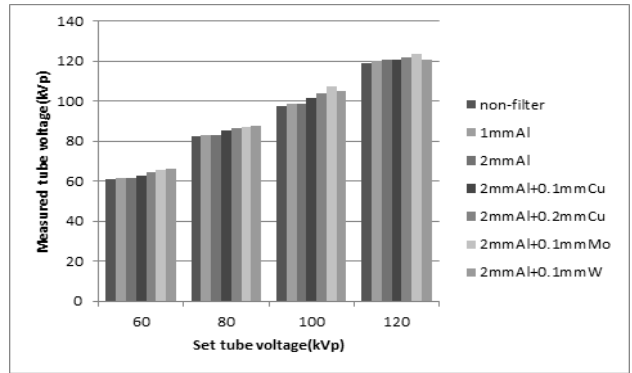


Fig. 5 Comparison of beam quality between tube voltage set up in device and tube voltage measured after insertion of each filter

3. Histogram width 비교

각 재질의 필터에서 histogram width는 kVp가 증가할수록 감소하였다. 2.0 mmAl+0.1 mmCu, 2.0 mmAl+0.2 mmCu필터는 낮은 관전압인 60 kVp에서 histogram width가 각각 4.703, 4.598이었다. 2.0 mmAl+0.1 mmMo와 2.0 mmAl+0.1 mmW은 관전압 60 kVp에서 histogram width가 각각 5.609, 7.891로 histogram width의 간격이 상대적으로 넓게 나타났다. 이는 저관전압에서 Mo과 W 재질의 필터는 영상의 질 저하에 영향을 많이 미치므로 사용하기 곤란하다고 할 수 있다. 또한 2.0 mmAl+0.1 mmW필터는 고관전압에서도 histogram width가 상대적으로 넓게 나타났으며, 이는 W필터가 고관전압에서도 사용하기 곤란하다는 것을 의미한다. 한편, 2.0 mmAl+0.1 mmMo필터는 관전압 80, 100, 120 kVp로 높아질수록 2.0 mmAl+0.2 mmCu와 histogram width가 거의 같았고, 따라서 비교적 높은 관전압인 80, 100, 120 kVp에서는 Mo 필터의 사용을 충분히 고려할 수 있을 것이다.

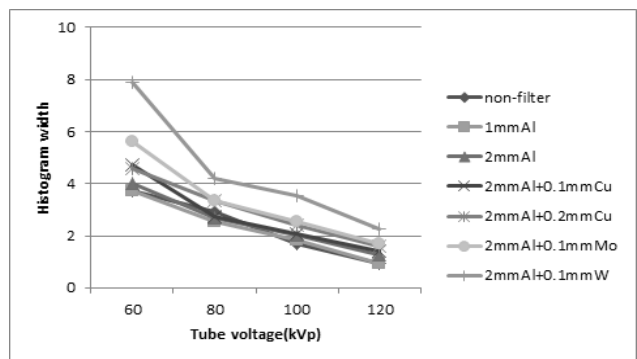


Fig. 6 Comparison of histogram width of each filter depending on the change in tube voltage

4. SNR의 비교

필터 사용 후 척추 정면 영상에서 얻은 SNR 값은 각 필터 별로 peak치가 다르게 나타났다. Non-filter와 1.0 mmAl, 2 mmAl에서는 80 kVp에서 SNR의 peak를 이루고 감소하는 경향을 보였고, 2.0 mmAl+0.1 mmCu와 2.0 mmAl+0.2 mmCu는 100 kVp에서 peak가 나타났으며 2.0 mmAl+0.1 mmMo 필터는 120 kVp에서 SNR의 peak가 나타났다. 그리고 2.0 mmAl+0.1 mmW 필터는 60 kVp 부터 120 kVp까지 SNR이 꾸준히 증가하는 결과를 얻었으며 120 kVp 이상의 고관전압은 일반촬영에서 사용하지 않기 때문에 2.0 mmAl+0.1 mmW 필터의 peak는 120 kVp에서 나타났다고 볼 수 있다. 또한 2.0 mmAl+0.1 mmMo의 SNR은 80 kVp에서 13.52로서 2.0 mmAl+0.2 mmCu의 SNR 14.14와 거의 차이가 없었고, 2.0 mmAl+0.1 mmCu의 SNR 17.21과도 큰 차이가 나지 않아서 디지털 방사선 중 80 kVp 이상을 사용하는 일반촬영에서 Cu를 대신하여 Mo을 필터로 사용할 수 있을 것이다.

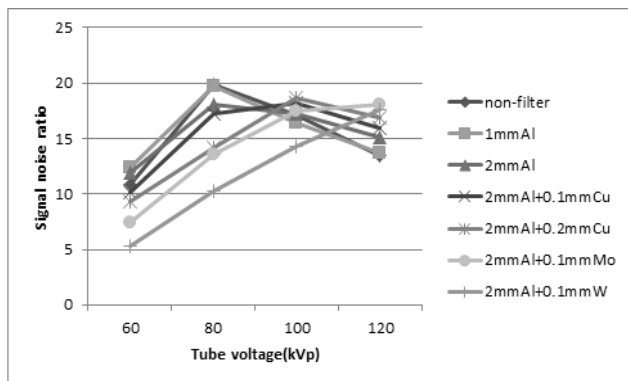


Fig. 7 Comparison of SNR of each filter depending on the change in tube voltage

5. Figure of Merit(FOM)

피부입사선량이 낮고 SNR이 높은 필터가 FOM이 더 높다고 할 수 있다. 60 kVp에서는 2.0 mmAl+0.1 mmMo와 2.0 mmAl+0.1 mmW이 높게 나타났고, 80 kVp에서는 2.0 mmAl+0.1 mmMo, 100 kVp와 120 kVp에서는 2.0 mmAl+0.1 mmW이 가장 높았다. 그 중 2.0 mmAl+0.1 mmMo 필터는 2.0 mmAl+0.1 mmCu에 비해 80, 100, 120 kVp에서 FOM이 각각 1.38, 1.8, 2.23배 높게 나타났으며 2.0 mmAl+0.1 mmW 필터는 각각 1.15, 1.82, 3.67배 높게 나타났다. 따라서 Mo 필터와 W 필터는 Cu 필터보다 FOM이 높으므로 동일 장치에서는 Cu보다 Mo이

나 W을 부가필터의 재질로 사용하는 것이 환자 피폭선량 경감에 효과적이다.

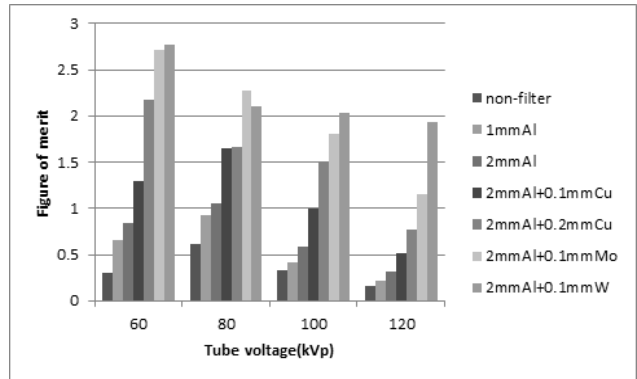


Fig. 8 Comparison of FOM of each filter depending on the change in tube voltage

IV. 고 찰

디지털 방사선 영역에서 환자의 방사선 피폭을 방어하는 방법으로는 조사야의 제한, 고관전압 촬영, 여과, 영상 수신부의 종류, 차폐 등 여러 가지 방법이 있으며, 그 중에 여과에 의한 방법은 영상 형성에는 영향을 주지 않고 환자에게 흡수만 일어나는 장과장의 X선을 제거해 주는 효과적인 방법이다. 일반촬영 영역에서 필터는 영상의 질과 X선관 부하(X-ray tube loading), 선량감소를 고려하였을 때 총여과가 최소 4.0 mmAl Eq. 이상을 유지하는 것이 바람직하다²⁾. 부가여과는 보통 두 가지 형태로 실시되며, 총 2.0~3.0 mmAl Eq이다. 첫째는 관용기와 콜리메이터 사이에 설치되어 있는 것이고(1.0~2.0 mmAl Eq), 둘째는 콜리메이터 내부의 거울(1.0 mmAl Eq)이다. 장비에 내재된 부가여과의 효과를 제거하기 위해 본 연구에서는 콜리메이터 자체를 제거하고 실험을 하였다. 따라서 두 가지 원인의 부가여과를 배제할 수 있어 선량평가와 영상 평가에 정확성을 기할 수 있었다. 일반적으로 100 kVp 이하의 저에너지 영역에서는 알루미늄을 필터를 사용하고, 100 kVp 이상의 고에너지 영역에서는 알루미늄과 구리(Al+Cu)의 복합 여과판을 재질로 이용한다⁴⁻⁶⁾. 고에너지 방사선 영역에서 알루미늄과 구리의 복합필터를 사용하는 이유는 구리에서 발생한 8 keV의 특성X선의 흡수를 위해 구리는 X선관 쪽에 두고 알루미늄은 구리 아래에 부착함으로써 특성 방사선 제거 효과에 따른 선량을 감소시킬 수 있다. 또한 120 kVp 이하의 진단방사선에서 발생하는 X선 에너지 스펙트럼을 분석해 보면 25 keV를 정

점으로 10~20 keV의 에너지를 지닌 X선이 가장 많으므로 보통 2mmAl의 여과판을 사용하면 사실 상 20 keV 이하의 거의 모든 광자를 흡수할 수 있어서 진단방사선에서는 이 두께를 사용한다¹⁴⁾. 본 연구에서도 Mo과 W에서 발생하는 특성 방사선의 제거를 위해 X선관 쪽에 Mo과 W필터를 두고 아래쪽에 알루미늄 2.0 mmAl를 부착하여 실험을 진행했기 때문에 특성 방사선을 충분히 제거할 수 있었다고 본다. 흉부X선 검사와 같은 고관전압 검사에서는 0.1~0.3 mm 정도의 구리필터가 사용되고 있다⁴⁻⁶⁾. 구리필터를 0.1 mm 사용하였을 때 영상이 non-filter와 동일한 진단적 가치가 있고, 입사표면선량은 non-filter 대비 47%의 선량을 줄일 수 있으며 Cu필터 두께를 두껍게 할수록 장기선량의 감소가 있으나 선량감소 폭은 점차 완만해져 0.1 mmCu일 때 선량 감소폭이 가장 크다는 보고가 있다⁷⁾. 본 연구에서 0.1 mmMo 필터는 0.1 mmCu 보다 입사피부선량이 42~56% 감소효과가 있었고, 0.2 mmCu 보다 25~50%의 감소효과가 있어서 Cu를 필터로 이용하는 촬영에서는 필터를 Mo으로 바꾼다면 환자피부선량도 그만큼 감소될 것이다.

Histogram은 영상의 밝기 값의 분포를 나타내는 그래프이다. Histogram의 width가 좁을수록 관전압 신호에 대한 intensity가 강하여 영상이 흐릿하지 않고 선명하며, kVp가 증가할수록 width는 감소한다¹⁴⁾. 본 연구에서는 필터 재질의 영상평가를 위해 팬텀의 요추부 가로돌기 (transverse process)를 지정하여 Image J 프로그램으로 histogram width를 분석하였다. 그 결과에서 관전압이 80 kVp 이상에서는 Mo필터를 이용하여 얻은 영상의 histogram width가 Cu필터를 사용한 영상과 큰 차이가 없어서 Cu필터를 이용하는 일반촬영 영역에서도 적용이 가능하다고 할 수 있다. 하지만 W은 Cu와 Mo에 비해 histogram 간격이 다소 넓으므로 영상에 적용이 제한적이다.

디지털 의료영상에서는 영상의 contrast를 모니터 화면에서 조절이 가능하고, 환자의 선량은 최적의 영상에 적절한 노출로 결정되어질 뿐만 아니라 영상에서 수용할 수 있는 SNR을 지정함에 따라 결정된다. SNR은 디지털 영상의 화질을 평가하는 대표적 기준으로 SNR이 높을수록 잡음이 작아져 영상의 질은 향상된다. 이전의 연구에서 영상의 특정 부위의 SNR과 영상 평가와는 양의 상관관계가 있고, SNR은 적어도 3~5 이상이 되어야 디지털 영상이 충분히 신뢰성 있고, 육안적으로 진단에 적합한 영상이 될 수 있다^{12,15)}. 본 연구의 SNR은 대부분의 필터에서 5~20 사이 값이어서 육안적 진단에 도움이 될 것이지만 주관적 영상평가를 제외하고 SNR만으로 영상을 평

가하기에는 무리가 있을 것이다. 다만 Mo과 Cu필터와의 비교 시 80 kVp 이상에서는 큰 차이가 나지 않음을 확인할 수 있어서 Cu를 대체할 수 있는 새로운 필터가 될 것으로 판단된다. FOM은 SNR에 대한 피부입사선량의 상대적 위험도를 나타낸다. Doyle 등은 흉부 팬텀을 이용한 실험에서 0.2 mmCu필터가 영상의 화질에는 거의 영향을 미치지 않고, 선량을 감소시킬 수 있으며, FOM이 높다고 하였다¹⁶⁾. 본 연구에서 0.1 mmCu와 0.1 mmMo의 FOM을 비교해보면, 60~120 kVp에서 Mo의 FOM이 2배 가까이 높게 나타났다. 따라서 Mo필터는 Cu필터에 비해 SNR을 저하시키지 않으면서 환자에게 낮은 선량을 적용시킬 수 있는 필터라고 할 수 있다. 입상의 CR 영역에서 부가필터는 대부분 장치에 미리 설치가 되어있고, 관전압의 변화에 따라서 부과여과를 변화하며 사용한다는 것은 검사에 불편함이 따른다. 또한 Al필터를 사용할 경우 적절한 여과를 충족하기 위해서는 두께가 두꺼워져 불편함이 가중된다. 하지만 환자선량을 감소시키기 위해서는 불편함이 따르더라도 관전압에 적합한 부가필터를 사용하는 것이 바람직하다.

본 연구의 제한점으로 원자번호가 높은 필터를 사용하면 선량 감소의 효과가 있지만 영상의 노이즈 영향을 고려해야하므로 촬영 조건 또한 증가시켜야 한다. 이와 더불어 진단용 X선 촬영의 촬영횟수에 따른 tube의 허용부하를 고려해야 하지만 본 연구에서는 선량감소와 영상 평가에 주안점을 두었으므로 이들 필터에 대한 tube 부하는 고려하지 않았다. 다음으로, 디지털 영상평가에 대해 기본적인 SNR과 histogram 등으로 필터 효과를 확인하였기 때문에 실제 임상영상의 적용에 따른 인체 부위별 주관적인 평가는 추가적인 연구가 더 필요하다고 본다. 하지만 제작에 어려움이 없고 선량감소의 효과가 큰 필터 재질에 대한 연구는 향후 디지털 방사선 영역에서 환자선량을 경감시키는 중요한 방법임을 확인하는데 본 연구의 의의가 있으리라 사료된다.

V. 결 론

일반적으로 부가필터를 사용하면 방사선의 저에너지 영역을 많이 흡수하므로 상대적으로 X선 실효에너지는 상승하게 되고 피폭선량은 경감하게 된다. 디지털 의료영상에서는 영상의 contrast는 모니터 화면에서 조절이 가능하고, 환자의 선량은 최적의 영상에 적절한 노출로 결정되어지는 것뿐만 아니라 영상에서 수용할 수 있는 SNR

에 따라 결정된다. 따라서 디지털 의료영상의 특성을 알고, 적절한 필터를 삽입한다면 간편하게 환자선량을 감소시킬 수 있을 것이다. 본 연구에서는 유방촬영 영역에서 target과 필터의 재질로 많이 사용되고 있는 Mo과 W을 일반촬영 영역에서의 사용 가능성을 확인하였다. SNR, FOM, 히스토그램 등으로 영상을 평가한 결과에서 W은 필터로 사용함에 부적절하였으나, Mo은 80 kVp 이상의 관전압에서 영상의 질을 저하시키지 않으면서 선량을 감소시킬 수 있는 필터로 충분히 사용할 수 있음을 확인하였다. 또한 Mo은 Cu보다 선량감소 효과가 42~56% 정도 되기 때문에 디지털 방사선 영역에서 영상의 질을 저하시키지 않으면서 선량을 경감시킬 수 있고, 실제 임상 의 흉부 촬영 및 고관전압 촬영 등에 충분히 적용할 수 있다고 본다.

참고문헌

- Sandborg M, Carlsson CA, Carlsson GA: Shaping x-ray spectra with filters in x-ray diagnostics, *Med Biol Eng Comput*, 32(4), 384-390, 1994
- Behrman RH: The impact of increased Al filtration on x-ray tube loading and image quality in diagnostic radiology, *Med Phys*, 30(1), 9-78, 2003
- National Council on Radiation Protection and Measurements(NRCP): Medical X-ray and Gamma ray protection for energies up to 10 MeV, NRCP report No. 33, Washington, National Council on Radiation Protection and Measurements, 1968
- RK Grewal, N Young, L Collins, N Karunaratne, R Sabharwal: Digital chest radiography image quality assessment with dose reduction, *Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine*, 35(1), 71-80, 2012
- Martin C: The importance of radiation quality for optimisation in radiology, *Biomed Imaging Interv J*, 3(2), e38, 2007
- Rossi RP, Harnisch B, Hendee WR: Reduction of radiation exposure in radiography of the chest, *Radiology*, 144(4), 909-914, 1982
- Hamer OW, Sirlin CB, Strotzer M, Borisch I, Zorger N, Feuerbach S, Völk M: Chest radiography with a flat-panel detector: Image quality with dose reduction after copper filtration, *Radiology*, 237(2), 691-700, 2005
- Dance DR, Thilander AK, Sandborg M, Skinner CL, Castellano IA, Carlsson GA: Influence of anode/filter material and tube potential on contrast, signal-to-noise ratio and average absorbed dose in mammography: a Monte Carlo study, *BJR*, 73, 1056-1067, 2000
- Nishino TK, Wu X, Johnson RF Jr: Thickness of molybdenum filter and squared contrast-to-noise ratio per dose for digital mammography, *AJR* 185(4), 960-963, 2005
- Han Jun Yang, Sin Kwan Ko, Mi hwa Joo: Evaluation of MTF Image by Target/Filter combined of X-ray tube using mammography, *Journal of Radiological Society and Technology*, 30(2), 113-119, 2007
- Villagran JE, Hobbs BB, Taylor KW: Reduction of patient exposure by use of heavy elements as radiation filters in diagnostic radiology, *Radiology* 127(1), 249-254, 1978
- Sandborg M, McVey G, Dance DR, Alm Carlsson G: Schemes for the optimization of chest radiography using a computer model of the patient and x-ray imaging system, *Med Phys*, 28(10), 2007-2019, 2001
- Williams MB, Raghunathan P, More MJ etc: Optimization of exposure parameters in full field digital mammography, *Med Phys*, 35(6), 2414-2423, 2008
- Nam-gil Choi, Ho-Jin Seong, Joo-Seop Jeon, Youn-Hyun Kim and Dong-Ook Seong: A comparative study of image quality and radiation dose according to variable added filter and radiation exposure in diagnostic x-ray radiography, *J Radiat Prot*, 37(1), 25-34, 2012
- Aichinger H, Dierker J, Joite-Barfuss S, Sabel M: Radiation exposure and Image Quality in x-ray Diagnostic Radiology, Heidelberg, Germany, Springer Verlag, 2004
- Doyle P, Martin CJ, Gentle D: Application of contrast-to-noise ratio in optimizing beam quality of digital chest radiography: comparison of experimental measurements and theoretical simulations, *Phys Med Biol*. 51(11), 2953-2970, 2006

•Abstract

Changes of Radiation Dose and Image Quality Due to Additional Filtration Material in Computed Radiography

Soon-Mu Kwon · Hyung-Wook Cho · Yeong-Han Kang¹⁾ · Boo-Soon Kim²⁾ · Jung-Su Kim³⁾

Department of Radiological Science, The Graduate School of Catholic University of Daegu.

¹⁾*Department of Radiology, Catholic University Hospital of Daegu School of Medicine.*

²⁾*Department of Radiologic Technology, Daegu Health College*

³⁾*Department of Bio-convergence Engineering, Korea University Graduate School*

Filter absorbs low-energy X-ray to increase the average energy and reduces patient exposure dose. This study investigates if the materials of Mo and W could be used for the digital imaging device CR by conducting image assessment and dose measurement of SNR, FOM and histogram. In addition, measurement of beam quality was conducted depending on the material of the filter, and at the same time, a proper combination of filters was examined depending on the change in tube voltage (kVp). In regard to entrance skin dose, Mo filter showed the dose reduction by 42~56%, compared to Cu filter. Moreover, Mo filter showed higher transmission dose by around 1.5 times than that of Cu filter. In image assessment, it was found that W was unsuitable to be used as a filter, whereas Mo could be used as a filter to reduce dose without decline in image quality at the tube voltage of 80 kVp or higher. As tube voltage increased, 2.0 mm Al+0.1 mm Mo almost had a similar histogram width to that of 2.0 mm Al+0.2 mm Cu. Therefore, Mo filter can be used at relatively high tube voltage of 80 kVp, 100 kVp and 120 kVp. The SNR of 2.0 mm Al+0.1 mm Mo did not show any significant difference from those of 2.0 mm Al+0.2 mm Cu and 2.0 mm Al+0.1 mm Cu. As a result, if Mo filter is used to replace Cu filter in general radiography, where 80 kVp or higher is used for digital radiation image, patient exposure dose can be reduced significantly without decline in image quality, compared to Cu filter. Therefore, it is believed that Mo filter can be applied to chest X-ray and high tube voltage X-ray in actual clinical practice.

Key Words : Mo filter, Cu filter, image assessment, patient exposure dose