

## &lt;원저&gt;

에너지 스펙트럼과 화질평가를 통한 복합부가여과에서  
알루미늄 여과판의 효율성 분석- Analysis of Effectiveness of Spectrum of Energy and Image Quality  
Evaluation by Aluminium Filter in the added Compound Filtration -서울대학교병원 영상의학과·<sup>1)</sup>안산대학교 방사선과김상현·최재호<sup>1)</sup>

## — 국문초록 —

본 연구는 복합부가여과에서 특성방사선을 제거하기 위해 사용되는, 알루미늄 여과판의 효율성을 분석하고자 구리 0.1, 0.2, 0.3 mm에 알루미늄 1 mm 사용 전, 후 에너지 스펙트럼 분석과 화질평가를 실시하였다. GATE를 이용하여 에너지 스펙트럼을 측정하고, 에너지별로 구분하여 평가 하였다. 화질평가는 PSNR, MAE, MSE, CNR, SNR 정성적 평가로는 국가암검진 흉부 평가표의 해상, 대조도 평가 7문항을 이용하였다. 에너지별 스펙트럼의 광자의 질 분석에서 저에너지 영역을 제외하고, 모든 영역 알루미늄 미사용 시 우수하였다. PSNR MAE, MSE, CNR, SNR, 정성적 평가는 알루미늄 미사용 시 같거나 우수했다. PSNR은 30 dB이상으로 모두 의미 있는 수치였고, 정성적 평가에서 *T*test 검정은  $p > 0.05$ 였다. 알루미늄 여과판은 에너지 스펙트럼 분석과 화질 평가에서 사용 전, 후 큰 효과가 없으므로, 디지털 방사선 장비의 보상능력 이용하면 알루미늄 여과판 사용 시 보다 선량 관리가 효과적이라 사료된다.

**중심 단어:** 알루미늄 여과판, 에너지 스펙트럼, 화질평가, 특성방사선, 피부선량

## I. 서 론

X선속 금속 흡수체를 인위적으로 삽입하는 것을 부가여과(added filtration)라 한다<sup>1)</sup>. 이러한 filter의 두께를 증가시켜 가면 spectrum의 형태는 고 에너지 쪽으로 이동하지만, 전체적인 선량률의 감소를 피할 수 없다. Filtration는 환자의 피폭량을 높이며, 영상의 대조도를 낮추는 방사선 광자에 대하여 영상 형성에 유용한 광자의 비율을 높이는 과정이다. 이것은 주로 광전효과가 많이 발생할 때 감약이 심하고, 콤프톤 반응이 많이 일어날 때에는 감약이 감소하는 현상을 이용하는 것이다<sup>2)</sup>. Filter는 환자선량을 어느 정도 감소할 수 있으나, 일정 에너지 영역의 광자만 흡수하는

것이 아니라 모든 광자의 에너지를 흡수하기 때문에, 이 손실을 보상하기 위하여 선량을 증가시켜야 한다. 중금속 필터나 K-edge filter를 사용하면, 저에너지와 고에너지를 감소하여 비교적 에너지 spectrum을 좁게 할 수 있다는 장점이 있다<sup>1)</sup>. X선속에서 저 에너지를 제거하면 환자선량을 감소할 수 있고, 고 에너지를 제거하면 영상대조도를 향상할 수 있는 장점이 있다<sup>3)</sup>.

Filter 연구의 중요한 조건은 에너지 스펙트럼의 변화와 물질의 특성에 관한 것이다. 진단용 X선 스펙트럼 예측은 1923년 Kramers에 의해 최초로 시도되었으며, 오늘날에 이르러 다양한 방법들이 연구되고 있다<sup>4)</sup>. 에너지 스펙트럼 측정은 경험적 모형, 반경험적 모형, 몬테칼로 모형이 있다. 경

험적 모형은 특별한 장치가 요구되며, 선속밀도(flux density)가 높으면 정확한 측정이 어려운 것으로 알려져 있다<sup>5)</sup>. 검출기 반응도(response function)가 에너지에 의존하고, 대부분의 검출기에 대한 반응도가 정확하게 알려져 있지 않는 문제점도 있다<sup>6)</sup>. 몬테칼로 모형은 다양한 변수와 한계를 극복하여 적용할 수 있으며, 경험적 모형이나 반경험적 모형에 비해 계산시간이 증가하는 문제를 가지고 있지만, 정확한 물리 모델과 상호작용과정을 적용하기 때문에 정확한 스펙트럼을 계산할 수 있다.

복합 filter는 두 개 또는 여러 개의 다른 금속 층으로 이루어졌으며, Al(알루미늄)과 Cu(구리)를 이용한 복합 filter를 이용할 경우, 항상 X선 관측으로부터 원자번호가 높은 금속을 놓는데, 그 이유는 방사선의 여과작용은 Cu가 담당하고, Al은 Cu에서 발생한 특성방사선을 흡수할 목적으로 사용하기 때문이다. Cu의 특성방사선 에너지는 환자까지 도달할 수 있는 충분한 에너지(8keV)인 까닭에, 피부선량을 증가시킬 염려가 있으므로 Al을 삽입하여, 이 특성방사선을 흡수해야 한다. Al에서도 특성방사선이 발생하지만, 이 에너지는 작아서(1.5 keV) 환자에 도달하기 전에 공기 내에서 흡수 된다<sup>7)</sup>.

Rymond et al.은 농도 1.0로 동일하게 나타내는데 표면선량과 환자의 피폭의 원인이 되는 흡수선량이 Cu < Al < non-filter로 나타났다고 했다<sup>8)</sup>. 또한 125 kV의 tube voltage와 0.3 mm Cu filter를 사용했던 팬텀 실험에서 두께를 달리한 팬텀에

서, 각각의 표면입사선량 측정 결과 filter를 사용했을 경우 small 팬텀에서 44, mid 46, large 47% 감소율의 차이를 나타냈다<sup>9)</sup>. Lee et al.은 머리부 전후방향촬영 시 Cu와 Al filter의 16가지 종류의 조합을 통하여 입사표면선량을 측정 결과, 같은 두께에 Cu에서 복합 filter를 사용한 경우가 모두 선량이 작게 측정되었다<sup>10)</sup>. 또한 유방촬영장치의 부가필터에 따른 선량변화 실험에서, 단일 필터보다 복합filter를 사용 시 선량 감소효과가 있다고 주장했다<sup>1)</sup>. 선행 연구들에서 Cu filter에서 복합 filter의 역할이 Cu의 특성 X선 제거를 통한 표면선량 감소에 효과가 증거 되었고, 이에 몬테카를로 시뮬레이션에 의한 에너지 스펙트럼 측정하여 분석하고, 화질 평가를 통하여 복합 filter 사용 시 Al filter의 사용 유, 무에 따른 효율성을 분석하여 환자에게 유리한 피폭선량 관리를 통하여 환자 안전을 도모하고자한다 .

## II. 연구재료 및 방법

본 연구에서는 장비는 Philips digital diagnost value amorphous silicon flat panel detector Pixium 4600를 이용하여 여러 평가 항목들을 측정한다. Trixel사의 Pixium 4600과 DR의 특성은 다음과 같다(Table 1).

**Table 1** Principal characteristics of Digital Radiography

Classification	Unit	Value
Pixel pitch	μm	143
Total array	Pixels (mm)	3,121x3,121 (446x446)
Image readout time	Ms	1,270
X-ray generator voltage range	kVp	40~150
X-ray system dose	mR	0.15~3
X-ray maximum linear dose	mR	3.5
MTF at 1 lp/mm	%	52
DQE at 1 lp/mm	%	35
A/D conversion dynamic range	bits	14
Focal Spots	mm	0.6/1.2
Anode angle	degree	13
Normal Voltage	kV	150
Permanent filter(mmAl)	mm	2.5

## 1. 연구 재료

### 1) Program

화질 평가를 위해 DICOM image processing software (Image J v.1.43u; National Institutes of Health Bethesda, MD, USA), 통계 사용을 위하여 SPSS(Statistical Package for Social Science v.18), 에너지 스펙트럼 측정을 위하여 SRS-78, GATE(Geant4 Application for Tomography Emission v.6.2) Simulation을 사용하였다.

### 2) Anthropomorphic Phantom

인체모형 팬텀은 인체부위별 X선 팬텀으로 남성으로 175cm, 74kg 이다(Figure 1, 2, 3).



Figure 1 RS-109(Head without Cervical Spine)



Figure 2 RS-111(Thorax)



Figure 3 RS-113(Pelvis)

### 3) Added Filter

부가필터는 99.9%순도에 크기는 가로, 세로 각각 10 cm 이며 두께는 Cu는 0.1, 0.2, 0.3 mm, Al는 1 mm이다 (Figure 4, 5).

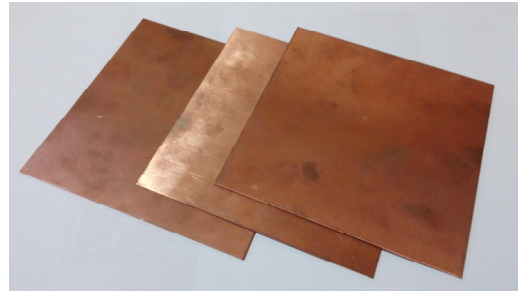


Figure 4 Cu filter

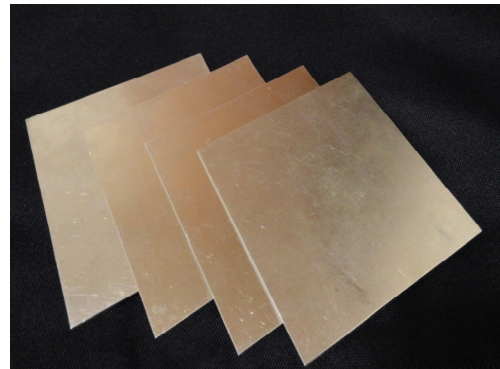


Figure 5 Al filter

### 4) Dosimeter

선량계는 Unfors사의 Xi 모델을 이용하였다(Figure 6).



Figure 6 Unfors Xi

## 2. 연구 방법

### 1) 에너지 스펙트럼 측정

Simulation energy spectrum을 얻기 위해 Genat4(geometry and tracking) Toolkit를 기반으로 한 GATE를 이용하였다. GATE를 이용한 energy spectrum을 얻기 위해선 X-ray source와 detector에 대한 geometry code 작성해야 한다. Detector는 실제와 같이 작성하며 가장 중요한 것은 scintillator의 두께가 중요하다. 본 연구에선 600  $\mu\text{m}$ 를 입력하였다. GATE 내에서는 X-ray source의 spectrum에 대한 정보가 없으므로, SRS-78이라는 프로그램을 이용하여 spectrum 정보를 획득하여 X-ray source code로 구현하였다. 에너지는 50, 70, 90, 120 kV로 필터물질은 Cu 0.1, 0.2, 0.3 mm, Cu 0.1, 0.2, 0.3 mm에 각각 Al 1 mm를 합친 물질로 실험을 하였다.

### 2) 에너지 스펙트럼의 평균 비교

각 에너지별 같은 두께의 Cu에 Al filter 사용 전, 후 spectrum의 평균 비교를 실시하여 통계적 유의성을 살펴보았다. 먼저 정규성 분포 test 후 정규성 분포를 만족하지 않아서 비모수적 통계방법을 하였다. Al filter 사용 전, 후를 대응 Wilcoxon sign ranks test를 실시하였고 통계량(Z), p-value를 구하였다.

### 3) 에너지 스펙트럼의 저에너지 비교 분석

각 에너지에 Al filter 사용 전, 후의 스펙트럼 그래프가 가우스 분포를 이루기 위해 상승하기 전 저에너지 부분의 광자수를 총 광자수로 나누어 백분율로 환산하여 정량화 하였다.

### 4) 에너지 스펙트럼의 중심 에너지 비교 분석

같은 에너지에 Al filter 사용 전, 후의 광자량의 차이를 사용 전, 후의 광자량 합산 평균으로 나누어 백분율로 환산하여 정량화 하였다.

### 5) 에너지 스펙트럼의 고에너지 비교분석

양질의 고에너지의 위치차를 알아보기 위하여 기술통계량의 왜도 값을 이용하였다. Al filter 사용 전, 후의 평균값이 다르고, 그냥 왜도 값을 구했을 시에는 정규 분포 값의 차이 밖에 알 수 없어서 각 에너지에서 Al filter 사용 전, 후 값을 표준화 하여 같은 조건으로 만들어서 왜도를 구하여, 어떤 실험 조건이 더 고 에너지의 위치하는 지를 살펴보았다.

### 6) SNR, PSNR, RMSE, MAE

Chest 팬텀을 이용하여 필터 장착 전 기준 영상을 촬영하고 각각의 필터를 장착 한 실험영상을 촬영한다. 촬영 조건은 AEC(Auto Exposure Control, 이하 AEC)를 사용하여 얻어진 입사 X-ray 평균에너지는 125 kV에 4 mAs를 고정하고 SID는 180 cm, 12:1격자를 사용하였다. 이렇게 얻어진 영상을 Image J를 이용하여 비교 분석하였다. PSNR은 서로 다른 두 영상에 대한 차이를 정량적으로 느끼고 알 수 있도록 숫자로 나타낸 값이며, 이는 다음과 같이 식1을 사용하여 산출한다.

$$\begin{aligned} PSNR(dB) &= 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{MAX_I^2}{MSE}\right) \\ &= 20 \cdot \log_{10}\left(\frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}}\right) \end{aligned} \quad (1)$$

MAE는 식2를 사용하여 산출한다.

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(i,j) - K(i,j)]^2 \quad (2)$$

I(i,j) : 좌표(i,j)의 비교영상 픽셀값

K(i,j) : 좌표(i,j)의 원래영상 픽셀값

### 7) CNR, SNR 측정

CNR는 Pelvis 팬텀을 이용하여 촬영 조건은 AEC를 사용하여 얻어진 입사 X-ray 평균에너지는 77 kV에 12.5 mAs를 고정하고 SID는 110 cm, 10:1격자를 사용하였다. Right iliac wing, femur head, sacrum을 Image J 프로그램을 이용하여 0.3 X 0.3  $\text{cm}^2$ 의 ROI를 설정하였다. ROI의 pixel 신호 강도의 표준편차를 측정 후, ROI를 제외한 Background의 신호 강도 평균값과 표준편차를 구하여 식3에 의하여 계산한다.

$$CNR = |(B SI_{Avg} - R SI_{Avg}) / \sqrt{B SD^2 + R SD^2}| \quad (3)$$

B: Background

R; ROI

또한 Skull 팬텀을 이용하여 조건은 AEC를 사용하여 얻어진 77 kV에 12.5 mAs를 고정하고 SID는 110 cm, 10:1격자를 사용하였다. Frontal bone, Right orbit, mandible을 위의 조건과 동일하게 영상을 획득하였다. SNR은 CNR 측정

과 동일하게 Image J 프로그램을 이용하여 ROI의 신호강도의 평균과 표준편차를 측정 후, ROI를 제외한 Background의 신호강도 평균과 표준편차를 구하여 식4를 이용하여 계산하였다(Figure 7).

$$SNR = (B \text{ SIAvg} - R \text{ SIAvg}) / R \text{ SD} \quad (4)$$

B: Background

R; ROI

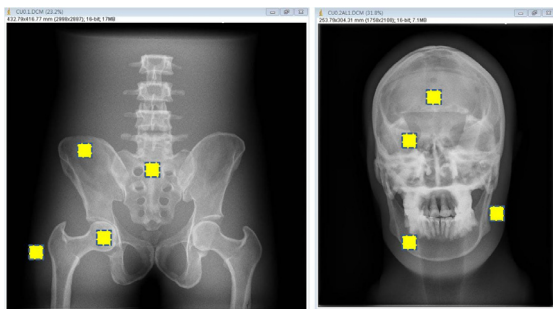


Figure 7 Measurement points of CNR, SNR

8) 정성적 평가

Chest phantom에 120 kV에서 AEC mode 사용하여 EI

200값을 설정 후 조사하여 얻은 4 mAs값을 이용하였다. 10년 이상의 5명의 방사선사가 흉부 X선 검사 임상영상평가표(국가암검진 임상평가표)를 기준으로 하여 5점 리커트 척도를 이용하였다. 평가항목은 평가표에서 투과 상태, 해상도 및 대조도 평가 문항을 이용하였다. 평가항목은 총 7가지 항목으로 구성하였다(Table 2).

### III. 결 과

#### 1. 에너지 스펙트럼

##### 1) 에너지 스펙트럼 측정

GATE simulation을 이용하여 각 filter의 에너지별 광자량을 지수값으로 측정하였다. 측정 후 아래와 같은 에너지 스펙트럼을 작성하였다. 입사 관전압이 50, 70, 90, 120 kV로 높아질수록 에너지 스펙트럼이 높은 keV 영역으로 이동하여 분포가 넓어지고 최대 분포값도 넓게 퍼져 평활화 됨을 알 수 있다(Figure. 8). 에너지를 고정으로 놓고 filter 두께를 변화시키면, 두꺼워 질수록 낮은 keV의 스펙트럼 분포는 적어지며 높은 keV로 옮겨가지만 전체적의 광자의 수도 줄어든다(Figure 9).

Table 2 Evaluation criteria of the clinical images

Item	
1	Pulmonary vesicular of lung field
2	Pulmonary vesicular and descending aorta behind heart
3	Vessels below the diaphragm
4	Rib costal
5	Diaphragm
6	T-spine intervertebral space
7	Trachea and bronchus

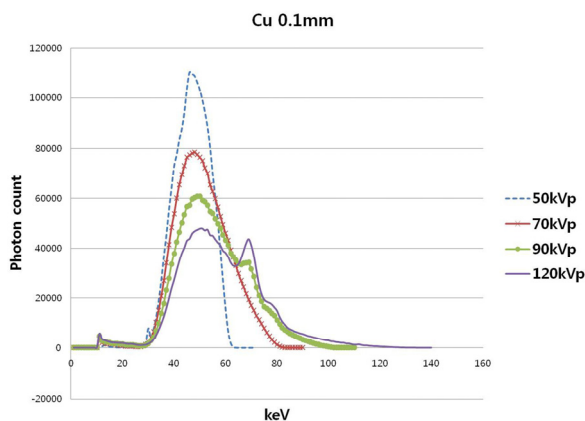


Figure 8 Energy spectrum of Cu0,1mm without Al

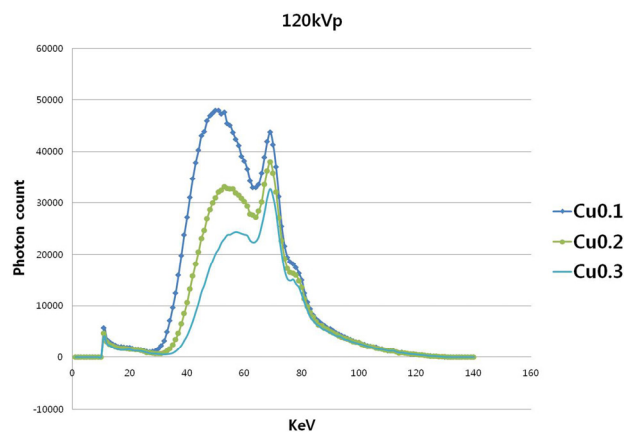


Figure 9 Energy spectrum of Cu filter without Al

## 2) 에너지 스펙트럼의 평균 비교

스펙트럼 곡선의 정점도는 관전압이 증가하거나 필터의 물질이 두꺼워지면 높은 쪽으로 옮겨갔다. 같은 두께에서 Al filter 사용 전, 후 평균 keV의 이동을 살펴보면 0.1 mm 두께에서는 50 kV에서 46에서 47 keV로 약간의 변화가 있었으나, 120 kV에서는 51, 69 keV로 동일했다. 0.3 mm 에서는 70 kV를 제외하고는 평균 keV가 변화가 없었다. 120 kV에서는 두개의 곡선의 정점을 보였는데 두 번째 정점은 모두 69 keV로 동일하였다. 필터의 두께가 증가되면 에너지도 오른쪽으로 옮겨가게 되는데 90 kV에서 단일 filter 시 49~56 keV이고, 복합 filter 사용 시는 49~56 keV로 차이가 없었다(Table 3).

Wilcoxon sign ranks test를 실시하였고 통계량(Z), p-value를 구하였다. Al filter 사용 전, 후 전체적인 광량 값의  $p < 0.05$  이므로 통계적으로 유의한 차이가 있었다(Table 4).

## 3) 에너지 스펙트럼의 저 에너지 비교 분석

50 kV의 0.1 mm에서 0.39%, 120 kV의 0.3 mm에서 3.3%이었으며, Al filter를 사용한 복합 filter에서는 50 kV의 0.1 mm에서 0.3%, 120 kV의 0.3 mm에서 3.4%이었다. 대부분 많은 차이를 보이지 않았으며, 90 kV의 0.1 mm에

서 0.2 %차이가 가장 컸다(Table 5).

## 4) 에너지 스펙트럼의 중심 에너지 비교 분석

전반적인 에너지 스펙트럼의 중심 에너지 비교는 Cu filter를 단일로 사용한 경우가 우수하였다. 두 물질의 동일한 에너지 대역대의 총 광자수의 평균치에서 차이를 나누어 peak치 평균에서 얼마나 차지하는가 하는 양을 구하였다. 전체적으로 관전압의 크기가 클수록, 같은 관전압에서 물질의 두께 두꺼워 질수록 그 차는 작아졌다. 같은 물질 두께의 차라 하더라도 관전압이 커질수록 물질의 두께의 차에 대한 차이는 작아졌다. 가장 큰 차는 50 kV의 0.1 mm에서 16.9%, 가장 작은 차는 120 kV의 8.6% 이었다(Table 6).

## 5) 에너지 스펙트럼의 고 에너지 비교분석

고 에너지 부분의 왜도를 구함으로써 얼마나 높은 쪽에 에너지가 형성되는가 하는 실험에서, 관전압이 작고, 같은 관전압에서 물질의 두께가 두꺼울수록, 왜도 값은 더 크게 나타났다. 가장 왜도 값이 큰 것은 120 kV에서 단일 filter Cu0.1 mm, 가장 작은 것은 50 kV에서 복합 filter Cu0.3 mm이었다. 모든 값에서 단일 filter가 복합 filter에 비해 같은 조건에서 더 우향화 되어 있음을 알 수 있었다(Table 7).

**Table 3** Change in mean keV through tube voltage (단위: keV)

	50kV	70kV	90kV	120kV
Cu0,1 mm	46	48	49	51
Cu0,1 +Al1 mm	47	49	50	51
Cu0,2 mm	49	51	53	53
Cu0,2 +Al1 mm	50	51	53	53
Cu0,3 mm	51	55	56	55
Cu0,3 +Al1 mm	51	53	56	57

**Table 4** Statistics of photons count

kV	Statistics	Cu0,1- Cu0,1+Al1	Cu0,1- Cu0,1+Al1	Cu0,1- Cu0,1+Al1
50	Z	-6,393	-6,316	-6,213
	P-value	0,000	0,000	0,000
70	Z	-7,509	-7,407	-7,364
	P-value	0,000	0,000	0,000
90	Z	-8,442	-8,387	-8,162
	P-value	0,000	0,000	0,000
120	Z	-9,356	-9,254	-9,434
	P-value	0,000	0,000	0,000

**Table 5** Low energy photons ratio of total amount (thousand)

kV	Item	Cu0,1	Cu0,1 +Al1	Cu0,2	Cu0,2 +Al1	Cu0,3	Cu0,3 +Al1
50	Total counts(A)	1,969	1,593	1,048	884	611	527
	0-29keV counts(B)	7.85	4.87	2.40	1.88	1.28	1.00
	B/A %	0.39	0.3	0.22	0.21	0.2	0.19
70	Total counts(A)	1,991	1,685	1,242	1,087	842	753
	0-29keV counts(B)	20.44	17.27	14.12	12.96	11.09	10.24
	B/A %	1	1	1.1	1.1	1.3	1.3
90	Total counts(A)	1,998	1,627	1,277	1,140	933	849
	0-39keV counts(B)	55.48	42.07	28.80	25.27	22.17	20.24
	B/A %	2.7	2.5	2.2	2.2	2.3	2.3
120	Total counts(A)	1,999	1,650	1,277	1,156	980	900
	0-39keV counts(B)	68.45	54.69	41.10	36.96	32.88	30.66
	B/A %	3.4	3.3	3.2	3.1	3.3	3.4

**Table 6** Peak energy ratio of spectrum

kV	Item	0,1mm	0,2mm	0,3mm
50	Average(A)	77,671	46,973	29,025
	Gap(B)	13,113	7,148	4,026
	B/Ax100 (%)	16.9	15.2	13.9
70	Average(A)	49,532	33,706	23,673
	Gap(B)	6,789	4,143	2,573
	B/Ax100 (%)	13.7	12.3	10.9
90	Average(A)	38,740	28,471	21,402
	Gap(B)	4,540	2,925	1,966
	B/Ax100 (%)	11.7	10.2	9.2
120	Average(A)	34,487	26,392	20,552
	Gap(B)	3,563	2,480	1,763
	B/Ax100 (%)	10.3	9.4	8.6

**Table 7** Skewness of high energy spectrum

filter	50	70	90	120
Cu0,1 mm	0.562	0.758	0.719	2.166
Cu0,1+Al1 mm	0.535	0.716	0.663	2.157
Cu0,2 mm	0.454	0.591	0.498	2.069
Cu0,2+Al1 mm	0.441	0.555	0.452	2.069
Cu0,3 mm	0.366	0.434	0.323	2.004
Cu0,3+Al1 mm	0.348	0.399	0.295	1.988

## 2. Image quality

### 1) SNR, PSNR, RMSE, MAE

필터의 두께가 증가됨에 따라 SNR, PSNR은 감소되며, RMSE, MAE는 증가된다. 복합 filter 실험에서도 같은 양상으로 나타나며, 단일 filter에 비해 SNR, PSNR은 감소하고 RMSE, MAE는 증가된다(Table 8).

### 2) CNR, SNR

Skull 팬텀을 이용한 실험에서 필터 물질의 두께가 두꺼워지면 관찰영역 3군데서 모두 SNR, CNR은 낮아진다. 대부분의 필터에서 관찰영역 모두에서 단일 filter 경우에 CNR, SNR이 더 높았다(Table 9).

Pelvis 팬텀을 이용한 실험에서 필터 물질이 두꺼워지면 CNR, SNR은 모든 부분에서 감소하였고, 복합 filter 시에도 모든 부분에서 감소하였고 특히, Sacrum 부분에 CNR, SNR값의 큰 차이를 보였다(Table 10).

### 3) 정성적 평가

흉부 X선 검사 임상영상평가표(국가암검진 임상평가표)를 기준으로 투과 상태, 해상도 및 대조도 평가 문항을 이용하였다. 연구방법에서 항목은 7가지로 표의 표기를 쉽게 하기 위하여 1~7번으로 명명하였다.

10년 이상 경력의 방사선사 5명이 평가한 결과 같은 두께의 두 경우에서 결과 값의 차이가 크게 나타나지 않았다. Pair *t*-test 결과 모든 결과 값에  $p > 0.05$ 로 나타나 두 값의 평균 차는 통계학적으로 의미가 없었다. 횡격막에 관련된

**Table 8** SNR, PSNR, RMSE and MAE of filters

Filter	SNR(dB)	PSNR(dB)	RMSE	MAE
Cu0.1mm	31.11	45.547	43.547	39.949
Cu0.1 +Al1mm	27.685	42.547	43.287	39.949
Cu0.2mm	25.387	39.824	83.659	81.395
Cu0.2 +Al1mm	23.407	37.843	105.085	102.925
Cu0.3mm	22.142	36.579	121.556	119.421
Cu0.3 +Al1mm	20.817	35.254	141.588	139.512

**Table 9** CNR and SNR of Skull by filters

Filter	Frontal bone		Mandible		Orbit	
	CNR	SNR	CNR	SNR	CNR	SNR
Cu0.1 mm	13.81	21.29	7.18	11.30	10.20	16.20
Cu0.1+Al1 mm	13.38	21.02	7.15	11.29	9.91	15.80
Cu0.2	13.53	20.88	6.79	10.92	9.79	15.73
Cu0.2+Al1 mm	13.19	20.54	6.69	10.84	9.50	15.40
Cu0.3	13.04	19.56	6.42	10.21	9.53	14.72
Cu0.3+Al1 mm	12.73	19.17	6.32	10.08	9.28	14.38

**Table 10** CNR and SNR of Pelvis by filters

Filter	Iliac wing		Femur head		Sacrum	
	CNR	SNR	CNR	SNR	CNR	SNR
Cu0.1 mm	6.53	10.46	13.64	21.40	14.88	24.24
Cu0.1+Al1mm	6.54	10.46	13.72	21.45	9.91	15.80
Cu0.2 mm	6.26	10.24	13.28	20.70	14.82	23.35
Cu0.2+Al1 mm	6.28	10.16	13.06	20.47	9.50	15.40
Cu0.3 mm	6.15	9.84	12.36	19.56	13.32	21.97
Cu0.3+Al1 mm	6.14	9.70	12.46	19.29	9.28	14.38



Table 11 Evaluation of the clinical images

Item	Cu0.1mm	Cu0.1+Al1mm	Cu0.2mm	Cu0.2+Al1mm	Cu0.3mm	Cu0.3+Al1mm
1	4.2	4.1	4.1	4.0	4.0	3.9
2	4.2	4.1	4.0	4.1	4.0	4.0
3	4.0	4.0	4.0	3.9	4.0	3.8
4	4.1	4.0	4.1	3.9	4.0	4.0
5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
6	4.1	4.0	4.0	3.9	4.0	3.9
7	3.8	3.8	3.8	3.7	3.6	3.5

부분은 전체가 5점 만점을 기록하였고 전체적인 값들은 크게 차이가 나지 않았다. 폐야의 전체적인 부분에서 폐혈관의 관찰 부분과 심장 뒤의 폐혈관과 하행대동맥 관찰 부분에서 Cu filter 단독으로 사용한 경우에 약간 우수하였다.

복합 filter 시 기관과 기관지 부분의 관찰에서 다소 평가 점수가 떨어지는 경향을 볼 수 있다. 또한 흉부에서 가장 두꺼운 부분에 해당하는 흉추 부분에서 관찰 또한 점수가 전체적으로 떨어졌다(Table 11).

#### IV. 고 찰

X선관에서 방출되는 X선 에너지는 연속 spectrum으로 저에너지, 고에너지 영역이 혼재되어 있다. 일반적으로 부가 filter를 사용하면 저에너지 영역을 많이 흡수하므로 상대적으로 X선의 실효에너지를 올리는 데는 효과적이다. 그러나 기존 Conventional radiography system는 얇은 부가 필터를 사용하거나, 관전압을 기존보다 감소시킬 수밖에 없어, 선량을 충분히 감소시키지 못하는 한계가 있다<sup>8)</sup>. 이는 X선질 경화에 의한 영상의 대조도가 감소되는 현상이 나타나기 때문이다. 그러나 Flat panel detector system의 개발과 발전을 통하여, 기존의 장비에 비하여 넓은 관용도(latitude)와 높은 대조도(contrast resolution)의 특성이 제공되므로, 영상화질의 저하 없이 환자 선량을 감소시킬 수 있게 되었다. 디지털 방사선 장비는 아날로그 방식과 달리 넓은 노출지수를 갖는다. 노출지수가 넓다는 것은 bit depth가 넓다는 것이고, 필름과 비교하여 검사조건에 대해 kV선택이 넓다는 것을 의미한다. 실제로 DR 장비에서 관전압을 높이고 filter를 추가하면 촬영거리가 늘어날수록 표면 선량이 감소하는 선행 연구도 있다<sup>11)</sup>.

에너지 스펙트럼을 살펴보면 저에너지 영역에서는 단일, 복합 filter의 비율을 살펴보면 단일은 0.39~3.4, 복합은 0.3~3.4 % 이었다. 그러나 광자량은 50 kV 0.1 mm에서는,

단일은 7,850, 복합은 4,870이며, 120 kV에서는 32,880, 30,660 으로 전체적으로 복합이 양적으로 적었으나 전체 광자량 비율에서는 큰 차이를 나타내지 못했다.

중심 에너지 영역에서는 16.9~8.6 %로 단일 filter를 사용한 경우가 효율이 더 높았다. 고에너지 영역에서 더 높은 쪽에 위치하여, 치우친 정도를 나타내는 왜도를 살펴보면 단일 filter에서는 0.323~2.166, 복합 filter에서는 0.295~2.157로 단일 조건이 더 높은 에너지 영역에 위치함을 알게 되었다. 이렇듯 에너지 영역을 나누어 살펴보았을 때 관전압과 filter 물질의 두께 따라서 선택적으로 사용이 가능할 것으로 사료된다.

SNR은 DR에서 중요한 인자이고, 영상의 화질은 높은 SNR에 비례하여 향상된다. 또한 X선의 저선량에 다양한 변수, 형광체, 그리고 DR 시스템의 전자적 요소에서 발생하는 양자noise는 SNR을 감소시킨다. DR 시스템은 검출기의 선량률에 의존한다<sup>12)</sup>. 그러나 SNR이 높더라도 다른 조직과 조직을 구분할 수 있는 CNR이 충분히 높지 않다면, 우수한 화질의 영상을 획득하는데 실패할 것이다. 즉, 본래부터 원시 데이터나 측정된 신호 값들 사이의 차가 존재하지 않는다면 각 물체의 조직 간의 대조도가 형성되지 않고, 대조도를 증강시키는 방법 또한 어렵기 때문이다<sup>13)</sup>.

PSNR은 대개 11 dB 이상이 되면 상당히 유사한 영상으로 보기는 하지만 사실상 30 dB을 기준으로 그 이하의 수치는 상대적으로 화질 수준이 떨어진다고 본다. 영상의 화질은 인간의 육안 적으로 보고 판단하는 것이기 때문에, 굳이 PSNR이 높다고 좋은 영상이라 말하기는 어렵다<sup>4)</sup>. Cu 0.1~0.3 mm에서 PSNR은 45.54, 39.82, 36.57이며 RMSE는 43.54, 83.69, 121.55로 필터의 두께가 증가하면, PSNR은 낮아지고 RMSE는 증가되었다. 이는 복합 filter 실험도 마찬가지였다. Cu 0.1~0.3는 PSNR은 42.54, 37.84, 35.24, RMSE는 43.28, 105.08, 141.58이었다. Al filter를 사용 전이 더 우수한 값을 나타내었으나, 그 차이는 크다고 할 수 없다. 그러나 단일 조건으로 만 실시한 실험으로 좀 더 다양한 관전압과 mAs에

대한 추가 실험이 필요할 것으로 사료되고, 또한 기존에 임상에서 잘 사용되어지지 않았던 0.2, 0.3 mm 또한 의미 있는 영상의 범주에 수치를 나타냄으로 제한적 경우, 즉 비만 환자, 밀도와 두께가 두꺼운 부분에서 사용을 고려가 가능하다.

CNR, SNR 실험에는 Frontal bone, Mandible, Orbit 모두에서 Al filter 사용 전이 비해서 더 높았으며, 이는 Pelvis에서도 마찬가지로 Iliac wing, Femur head, Sacrum관찰부위에서는 모든 두께에서 Al filter 사용 전이 우수하였다. 특이점은 Sacrum에서만 값의 차이가 규칙적으로 컸는데, filter 사용시 해부학적 위치에 따라 결과 값이 달라질 수 있으므로 고려해 보아야 하는 점이라고 사료된다.

정성적 평가 부분에서는 통계적으로 유의성이 없는 것으로 나왔는데, 같은 물질의 두께에서 투과도의 차이가 크지 않는 이유로 사료된다. 그러나 의미 있는 수치의 차는 아니지만 폐혈관부의 관찰에서 Al filter 사용 전에 약간의 우수성을 나타냈다. 이는 전체적인 에너지 스펙트럼에 양질의 광자가 많이 발생함에 따라, 전체적인 관용도의 향상으로 기인한다. 또한 두꺼운 부분 흉추등과 공기를 많이 포함하고 있는 기관과 기관지 부분에서는 입상성이 거칠어져 두께에 대한 고찰이 필요할 것으로 사료된다.

## V. 결 론

에너지 스펙트럼을 영역을 구분하여 분석한 결과 저에너지 영역에서 광자량은 복합 filter가 적었으나, 전체 광자량 비율에서는 차이가 미미하였다. 또한 중심 에너지와 고에너지 영역에서 단일 filter가 더 우수하였다.

PSNR, RMSE에서는 전체적으로 Al filter 사용 전 PSNR은 더 높고, RMSE는 더 낮아 우수했다. 모든 결과 값에서 PSNR이 30 dB 이상으로 수치화됨으로 영상 분석적으로, 영상의 차이가 없는 것으로 나타났다. CNR, SNR은 부위마다 차이가 있었으나, Al filter 사용 전 우수하였다. 정성적 평가에서는 전체적으로 Cu filter 단독 사용 시에 우수한 평가는 받았으나, 통계학적으로  $p > 0.05$ 로 유의하지는 않았다.

위의 결과 값들에서 알 수 있듯이 Al를 사용한 복합 부가 filter는 저에너지 영역에서 발생하는 광자량은 작으나 중심, 고에너지 영역에서는 효과적이지 못했다. DR system의 보상 능력을 이용하면 적은 선량으로도 Al 복합 filter 보다 우수한 에너지 스펙트럼의 이용이 가능하고 화질 평가에서 질 저하 없이 효과적인 선량 관리가 가능할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. W. I. Cho, Y. K. Kim, G. D. Lee, Change of dose exposure and improvement of image quality by additional filtration in mammography, *Journal of Radiation Protection*, 38(2), 78–90, 2013
2. G. S. Shin, J. H. Choi, Y. H. Kim, J. M. Kim, C. G. Kim, Patient dose in mammography, *Journal of radiological science and technology*, 28(4), 293–299, 2005
3. S. J. Moon, Y. G. Kim, S. G. Lee, Reduction of patient dose exposure and improvement of image quality by use of additional filtration in digital radiology, *Korean J Digit Imaging Med*, 19–25, 2010
4. Y. H. Chung, C. H. Beak, S. J. Lee, Monte carlo simulation codes for nuclear medicine imaging, *Nucl. Med. Mol.*, 42(2), 127–136, 2006
5. Wilkinson LE, Johnston PN, Heggie JCP, A comparison of mammography spectral measurement with spectra produced using several different mathematical models, *Phys. Med. Biol.*, Vol. 46(5). 1575–1589, 2001
6. J. O. Lee, D. H. Jeong, S. R. Moon, Calculation of photon spectra from the tungsten target for 10MeV electron beam, *Korean Journal of Medical Physics*, 10(1), 55–62, 1999
7. S. S. Park, G. J. Kim, Introduction to the physics of Diagnostic Radiology, Dae Hak Seo Lim, Seoul, 135–141, 1985
8. Raymond P. Rossi, Reduction of Radiation Exposure in Radiography of the chest, *Radiology*, 144, 909–914, 1982
9. S. H. Lee, J. Heh, J. W. Lee, J. M. Kim, Clinical application of inverter type x-ray generator, *Journal of radiological science and technology*, 15(1), 107–113, 1992
10. C. H. Lee, C. S. Lim, A Study on Added Filters for Reduction of Radiation Exposure Dose in Skull A-P Projection, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 12(7), 3117–3122, 2011
11. S. S. Shin, Reducing method dose using auto exposure control system in digital radiography, *Journal of radiological science and technology*, 36(2), 111–122, 2013

12. S. Yang, J. B. Han, N. G. Choi, S. G. Lee, The Review of Exposure Index in Digital Radiography and Image Quality, Journal of Radiation Protection, 38(1), 29-36, 2013
13. Uffmann M, Cornelia S, Digital Radiography: Balance between image quality and required radiation dose, Eur. J. Radil, 72, 202-208, 2009
14. K. J. Lee, M. G. Kim, J. W. Lee, H. C. Kim, Research for the environmental optimization of dose and image, Journal of the institute of engineers of korea, 50(2), pp. 203-206, 2013

•Abstract

## Analysis of Effectiveness of Spectrum of Energy and Image Quality Evaluation by Aluminium Filter in the added Compound Filtration

Sang-Hyun Kim·Jae-Ho Choi<sup>1)</sup>

*Dept. of Dignostic Radiology, Seoul National University hospital*

<sup>1)</sup>*Dept. of Radiological Technology, Ansan College*

This study analysed the effectiveness of aluminium(Al) filter in the added compound filtration for the removal of characteristic radiation by energy spectrum and image evaluation. 0.1, 0.2, 0.3 mm copper with and without 1 mm Al were evaluated. The energy spectrum was measured using the GATE and evaluated separately by each energy. Image quality was evaluated by PSNR, MAE, MSE, CNR, SNR and qualitative analysis was performed by seven items for resolution and contrast from chest x-ray criteria of National Cancer Screening and Cardiovascular evaluation table. In the analysis of the quality of the energy per photon spectrum with the exception of a low energy region, without Al were superior in all area. PSNR MAE, MSE, CNR, SNR and qualitative analysis were the same or slightly better. PSNR was over 30 dB and all significant and the  $p > 0.05$  in the T-test of qualitative analysis. The energy spectrum and image quality have little difference between before and after use of Al filter. Therefore, it is effective to use the Al filter for the radiation dose management with the compensation capability of DR system.

**Key Words :** Aluminium filter, Energy spectrum, Image evaluation, Characteristic radiation, Skin dose