

<원저>

부가필터를 이용한 kVp 측정의 실효성 평가

- Effectiveness Evaluation of the Tube Voltage Measurement
by using Additional Filter -

1)경희의료원 영상의학과·2)신구대학교 방사선과

황준호¹⁾²⁾·이경호¹⁾·최윤봉¹⁾·강병삼²⁾

— 국문초록 —

의료산업의 성장은 의료수준 및 의료기기의 발전의 계기가 되었고, 이는 정확한 질병의 진단과 치료를 가능하게 하였다. 그러나 많은 수의 검사는 장비의 노후화를 야기하고, 환자의 피폭선량에 관여하기 때문에 국내에서는 정기적인 안전관리 체계를 구축하여 정도관리를 시행하고 있다. 그 중 정도관리 항목 중 하나인 kVp는 장비의 수명과 환자의 피폭선량에 직접 관여하는 부분이나, 정도관리의 시간과 비용의 문제점으로 정기적으로 시행하는 데에는 한계가 따르고 있다.

이에 본 논문에서는 kVp 측정에 Cu와 Y을 이용하여 kVp 측정의 실효성과 유용성을 평가하고 또한 제안하고자 하는 정도관리 방법의 정확성을 평가하여 kVp 측정의 정도관리 방안을 제시하고자 한다.

실험방법은 Cu와 Y이 같은 필름농도를 내는 조건의 kVp를 찾아 Cu와 Y을 통한 kVp 측정의 실효성과 유용성을 평가한다. 농도 범위가 0.5 ~ 1.0을 내는 관전압과 관전류 량의 조건을 고정한 뒤, Cu와 Y이 같은 농도를 내는 kVp의 Y에 대한 Cu의 비의 백분율을 기준점 100%로 정하여, ± 10 %범위로 kVp를 변화시켜가며 Y에 대한 Cu의 백분율의 농도비를 기록하여 농도단계를 만든다.

실험 결과 같은 농도를 내는 kVp의 Y에 대한 Cu의 백분율의 농도비를 기준으로 ± 10 % 범위의 Y에 대한 Cu의 백분율의 농도비가 85 ~ 110%로 일정한 단계를 가진다는 것을 알 수 있었다.

중심 단어: 정도관리, 관전압, 구리 및 이트륨, 질량에너지 흡수계수, 농도

I. 서 론

의료산업의 성장은 의료수준 및 의료기기의 발전에 계기가 되었고, 이는 정확한 질병의 진단과 치료를 가능하게 하였다. 그 중 진단용 X선 발생장치를 통한 검사는 식품의약품안전처 조사결과 2007년부터 2011년 까지 5년간 의료기관 방사선 이용이 약 35% 증가와 더불어 국민 일인당 연간 진단용 방사선 검사 건수가 4.6회에 이른다는 통계를 보이고 있다. 이중 일반 X선 촬영이 78%를 차지하고 있는 만

큼, 피폭선량 감소와 더불어 최적화를 통한 영상획득은 중요한 과제로 여겨진다¹⁻⁵⁾.

국내에서는 피폭선량 감소와 최적화의 일환으로 기기의 정도관리의 중요성이 대두되었다. 국내에서는 의료기기법에 따라 식약처의 품목허가를 받거나 신고를 통해 새로운 장비에 대한 사전검사를 받으며, 의료법 37조에 따라 해당 진단용 방사선 발생장치는 해당 검사 기관을 거쳐 안전관리 규칙에 따라 3년 주기의 정기적인 사후 검사를 통해 안전관리체계를 구축하여 정도 관리를 시행하고 있다^{6,7)}.

교신저자: 강병삼 (13174) 경기도 성남시 중원구 광명로 377

신구대학교 방사선과 Tel: 031-740-1522 / E-mail: kbs33@shingu.ac.kr

접수일(2015년 10월 07일), 1차 심사일(2015년 11월 10일), 2차 심사일(2015년 12월 08일), 확정일(2015년 12월 16일)

그 중 촬영조건 중 하나인 kVp는 피폭선량과 영상화질에 직접적으로 영향을 미치는 항목이나 고가의 측정 장비 및 시간적 제약으로 정기적인 정도관리를 시행하는 것은 제한적이다.

이는 정도관리차원에서 새로운 방법과 장비의 연구가 필요하다라는 것을 의미하고 이에 착안하여 2014년 신구대학교에서 황준호 외 4명은 독일의 Quart사에서 제작한 Quart SP_dl 방사선 촬영 및 투시 정도관리 팬텀을 이용한 kVp 측정의 실효성과 유효성을 입증한 바 있다⁸⁻¹⁰⁾.

Quart SP_dl 팬텀은 사각형모양으로써 200 x 200 x 18.5 mm 크기이고 33 x 33 cm으로 확장이 가능하며 kVp를 측정할 수 있는 부분은 반원 형태의 Cu와 Y으로 구성되어있고 kVp의 측정방법은 농도계를 이용한 측정으로 기술되어있다⁹⁾.

따라서 본 논문에서는 순수 Cu와 Y을 통한 kVp 측정의 정도관리 방안 연구 및 정확성을 평가하고, 향후 kVp를 측정하기 위한 새로운 사용방법을 제안하고자 한다.

II. 대상 및 방법

1. 대상 및 장비

본 연구는 3 대의 일반촬영장비(Accuray-625R; DK Medical Systems, Korea와 MDXP-40; Medicine, Korea 그리고 MC-50L; Medicine, Korea)를 사용하여 2014년 3월부터 2015년 6월까지 각 장비 당 50차례 실험을 진행하였다. kVp 측정에는 반도체 검출기인 Piranha 657과 Cobia를 사용한다. Piranha 657은 반도체 검출기로 에너지 분해능이 우수하고 입사방사선의 에너지와 출력 pulse와의 비례성이 뛰어나며 오차범위는 $\pm 5\%$ 특징을 가진다. 또한 각각의 kVp에 따른 보정계수를 가진 지금까지 나온 다른 선량계보다 정확한 선량 값을 나타낸다¹¹⁾. Cobia 또한 Piranha처럼 정확한 kVp 측정이 가능하다.

2. 재원

본 연구를 위한 Y은 순도 99.5 %의 전혀 산화가 되지 않은 순수 고체 상태이고 실험에 적합한 형태로 만들기 위해 직경 1.5 cm의 반원 모양으로 가공 제작하였다. 또한 두께에 따른 농도의 차이를 육안을 이용한 정성적 평가와 densitometer를 이용한 정량적 평가를 통하여 비교하기 위해 직경은 1.5 cm을 유지하고 두께를 0.5, 1.0, 1.5, 2.0

mm의 4가지 형태로 만들었다(Figure 1). Cu 또한 Y과 같은 조건으로 만들었다(Figure 2). Cu와 Y을 사용할 때, 산화로 인하여 실험에 영향을 주는 것을 최소화하기 위해 비닐 팩에 밀봉하여 보관하였다¹²⁾.

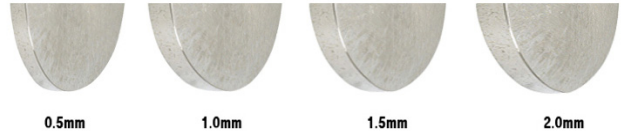


Figure 1 Yttrium with a diameter 1.5 cm and different thickness

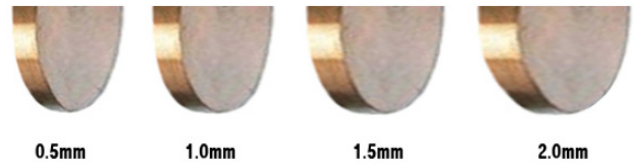


Figure 2 Copper with a diameter 1.5 cm and different thickness

3. 실험방법

1) X 선 kVp 재현성 실험

실험에 앞서 진단용 방사선발생장치의 사용여부를 결정하기 위해 재현성을 평가한다. Piranha 657로 각 kVp 당 3번씩 측정한다. 보다 정확한 재현성 평가를 위해 다른 kVp meter인 Cobia를 이용하여 kVp 재현성을 다시 한번 측정한다.

2) 두께 및 kVp 변화에 따른 Cu와 Y의 농도비 측정 실험

Quart SP_dl 팬텀의 설명서에서는 75 kVp, 선행 연구에서는 78 kVp에서 Cu와 Y이 같은 필름농도를 나타낸다는 것은 검증된 상태이므로, Cu와 Y이 같은 농도를 지시하는 두께를 먼저 찾는다^{9,10)}. 두께 변화에 따른 농도변화를 예상하여 관전류는 100mA, 촬영시간은 0.125 sec로 고정한 후 Y과 Cu의 두께를 0.5 mm와 0.5 mm, 0.5 mm와 1.0 mm, 1.0 mm와 1.0 mm, 1.5 mm와 2.0 mm로 변화시켜 75 kVp와 78 kVp에서 결과 값을 얻는다. Y과 Cu의 필름농도를 얻어낸 후, 각각의 농도를 densitometer를 사용하여 기록한다. Y과 Cu가 같은 농도를 나타내는 두께와 kVp를 찾으면 이를 기준으로 정한 후 두께는 고정하고 기준 kVp를 $\pm 10\%$ 로 변화하여 각각의 kVp에 해당하는 Y과 Cu의 필름농도를 기록한다. 이렇게 기록된 농도는 Y에 대한 Cu의 비로 농도비를 산출하여 % 비로 나타낸다.

실험을 진행하기 전에 측정 시 실험도구와 촬영대의 거리

(source image distance; SID)는 100 cm으로 하고, 조사야 크기는 카세트 크기인 10 x 12 로 실험을 진행하였다. 광자를 제거하기 위해 환자등가필터(Figure 3)를 콜리메이터에 부착하거나 고유여과 0.9 mmCu와 부가여과 2.0 mmCu을 합하여 총 여과 2.9 mmCu를 만든다¹³⁻¹⁵⁾. 카세트 위에 Piranha 657 또는 Cobia를 위치시키고 다른 한쪽에는 Cu와 Y을 위치시켜 방사선을 조사하여 실험을 진행하였다(Figure 4).



Figure 3 Patient equivalent Filter



Figure 4 Arrangement and configuration of the experiment test tool

3) Cu와 Y을 통한 kVp 측정의 실효성 및 유효성 실험

기존의 실험에서 Quart SP_dl 팬텀을 통한 kVp 측정의 실효성과 유효성은 검증된 상태이므로, 관전압을 78 kVp, 관전류를 100 mA로 고정하고 노출시간을 0.1 sec, 0.125 sec 그리고 0.16 sec의 조건으로 변화시켜 순수 Cu와 Y을 통한 kVp 측정의 실효성을 평가하였다. 또한 관전압을 75 kVp, 관전류를 100 mA로 고정하고 노출시간을 0.1, 0.125 그리고 0.16 sec의 조건으로 변화시켜 순수 Cu와 Y을 통한 kVp 측정의 유효성을 평가하였다¹⁰⁾.

4) Cu와 Y을 통한 kVp 측정의 정확성 실험

정확성 평가는 의료 진단용 X 선이 광자라는 사실에 입각하여, 단일 에너지 선원에 대한 방사선 강도가 차폐 물질의 층에 비례하여 지수적으로 감소한다는 것을 이용한다. 그 감소비율은 다음과 같은 식을 따른다.

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

- I_0 : 반응 전 방사선의 강도(keV)
- I : 반응 후 방사선의 강도(keV)
- x : 반응하는 물질의 두께(cm)
- μ : 물질 광자에 대한 선형 감쇠계수(cm^{-1})

이 μ 는 광자와 물질과의 상호작용(광전효과, 콤프턴 산란, 전자쌍 생성)을 고려하여 평가한다. 광자와 물질과의 상호작용 할 확률을 모두 합하면 물질에 입사해 반응할 수 있는 총 반응 단면적이 된다. 또한 μ 는 광자의 2차 반응을 고려하지 않은 narrow beam이며 여기에 밀도를 나누어주면 μ/ρ 가 된다. μ/ρ 는 다음과 같은 식을 따른다.

$$\mu/\rho = (\mu_p(o_p n) + \mu_c(Z o_c n) + \mu_{pp}(o_{pp} n))/\rho$$

- μ/ρ : 질량감쇠계수(cm^2/g)
- μ_p : 광전효과 선형 감쇠계수(cm^{-1})
- μ_c : 콤프턴 산란 선형 감쇠계수(cm^{-1})
- μ_{pp} : 전자쌍 생성 선형 감쇠계수(cm^{-1})
- o_p : 광전효과 단면적(cm^2)
- o_c : 콤프턴 산란 단면적(cm^2)
- o_{pp} : 전자쌍 생성 단면적(cm^2)
- Z : 물질의 원자번호
- n : 단위체적당 반응하는 원자 수(개수/ cm^3)
- ρ : 밀도

여기까지는 숫자감소 관점에서 바라본 식이라면, 에너지를 물질에 전달하는 과정에 중점을 두어 얼마만큼의 에너지가 전달되는지를 도입해야할 필요성이 대두된다. 그 전달비를 에너지 전달계수라고 하고 이는 다음과 같은 식을 따른다.

$$\mu_{tr} = \mu_p \left(1 - \frac{W}{hv}\right) + \mu_c \left(\frac{E_C}{hv}\right) + \mu_{pp} \left(1 - \frac{2m_e c^2}{hv}\right)$$

- μ_{tr} : 에너지전달계수
- hv : 입사 방사선의 에너지
- E_C : 콤프턴 전자 에너지
- W : 일함수
- $2m_e c^2$: 전자쌍 생성에 소모된 에너지

에너지 전달계수(μ_{tr})에 밀도(ρ)를 고려하면 질량에너지 전달계수(μ_{tr}/ρ)가 된다.

여기까지 에너지가 전달된 관점에서 바라본 식이라면, 에너지가 물질에 얼마만큼 흡수되는 지를 고려해야한다. 이는 에너지가 물질에 모두 흡수되지 않고 제동방사선이나 소멸복사선으로 일부가 방출된다는 의미이다. 진단 X선은 대부분 511 keV이하의 광자이므로 물질에 전달된 에너지의 일부가 제동방사선의 형태로 방출된다. 이를 고려한 것을 에너지 흡수계수라고 하고 이는 다음과 같은 식을 따른다.

$$\mu_{en} = \mu_{tr}(1 - T)$$

- μ_{en} : 에너지 흡수계수
- T : 제동 방사선으로 방출되는 에너지

에너지 흡수계수(μ_{en})에 밀도(ρ)를 고려하면 질량에너지 흡수계수(μ_{en}/ρ)가 된다.

실험에 이용한 에너지는 1 MeV 이하의 진단영역이므로 정확성을 평가할 때 전자쌍 생성을 제외한 광전효과와 콤프턴 산란을 고려하고 Cu와 Y의 밀도 및 질량에너지 흡수계수를 통하여 측정된 필름농도가 이론을 통한 계산의 검증을 거쳐 부합되는 정도로 정확성을 실험하였다^{16,17)}.

III. 결 과

1. X 선 kVp 재현성 실험

kVp 재현성은 백분율 평균오차를 따른다. 백분율 평균오차(Percent Average Error; PAE)는 설정치의 $\pm 10\%$ 의 범위 이내여야 한다. 백분율 평균오차에 의거하여 실험에 사용된 장치들은 kVp 재현성을 측정한 결과 이상이 없었다 (Table 1).

Table 1 Results of kVp reproducibility using Piranha 657 and cobia

Piranha 657					
회수	1	2	3	평균	PAE (%)
kVp					
65.0	65.0	66.0	68.0	66.3	2.00
66.0	66.0	66.0	67.0	66.3	0.50
67.0	68.0	69.0	70.0	69.0	2.90
68.0	69.0	69.0	70.0	69.3	2.00
69.0	71.0	70.0	70.0	70.3	1.90
70.0	72.0	72.0	71.0	71.7	2.40
71.0	73.0	73.0	72.0	72.7	2.30
72.0	73.0	73.0	73.0	73.0	1.40
73.0	74.0	75.0	74.0	74.3	1.80
74.0	76.0	76.0	76.0	76.0	2.70
75.0	77.0	76.0	76.0	76.3	1.80
76.0	77.0	76.0	76.0	76.3	0.40
77.0	78.0	79.0	79.0	78.7	2.20
78.0	80.0	79.0	80.0	79.7	2.10
79.0	80.0	81.0	81.0	80.7	2.10
80.0	81.0	81.0	81.0	81.0	1.30
81.0	82.0	82.0	82.0	82.0	1.20
82.0	83.0	84.0	83.0	83.3	1.60
83.0	83.0	84.0	85.0	84.0	1.20
84.0	85.0	86.0	86.0	85.7	2.00
85.0	86.0	86.0	87.0	86.3	1.60

Cobia					
회수	1	2	3	평균	PAE (%)
kVp					
65.0	67.0	65.0	68.0	66.6	2.50
66.0	67.0	69.0	65.0	67.0	1.50
67.0	67.0	68.0	67.0	67.3	0.50
68.0	70.0	69.0	70.0	69.6	2.40
69.0	68.0	70.0	71.0	69.6	1.00
70.0	72.0	73.0	70.0	71.6	2.40
71.0	74.0	71.0	72.0	72.3	1.80
72.0	74.0	75.0	74.0	74.3	3.20
73.0	73.0	73.0	74.0	73.3	0.40
74.0	73.0	75.0	76.0	74.6	0.90
75.0	74.0	77.0	78.0	76.3	1.80
76.0	78.0	76.0	79.0	77.6	2.20
77.0	79.0	77.0	77.0	77.6	0.80
78.0	78.0	79.0	77.0	78.0	0.00
79.0	80.0	79.0	80.0	79.6	0.80
80.0	80.0	83.0	80.0	81.0	1.20
81.0	82.0	83.0	80.0	81.6	0.80
82.0	82.0	83.0	84.0	83.0	1.20
83.0	84.0	85.0	84.0	84.3	1.60
84.0	86.0	85.0	82.0	84.3	0.40
85.0	88.0	87.0	88.0	87.0	2.30

2) 두께 및 kVp 변화에 따른 Cu와 Y의 농도비 측정 실험

두께 변화에 따른 농도변화를 예상하여 Y과 Cu의 두께를 0.5 mm와 0.5 mm, 0.5 mm와 1.0 mm, 1.0 mm와 1.0 mm, 1.5 mm와 2.0 mm로 변화시켜 75 kVp와 78 kVp에서 각각 촬영한 결과, 75 kVp에서 Cu와 Y의 두께가 0.5 mm와 0.5mm 일 때 각각의 농도가 2.1로 같았다. 또한 두께를 0.5 mm와 1.0 mm, 1.0 mm와 1.0 mm, 1.5 mm와 2.0 mm으로 변화시켜 촬영한 결과에서는 75 kVp와 78 kVp에서 같은 농도를 나타내지 못했다(Table 2).

Table 2 Measuring the concentration ratio of the Cu and Y according to the change in thickness and kVp

두께(mm)		75 kVp		78 kVp	
		100mA 12.5mAs	100mA 12.5mAs	100mA 12.5mAs	100mA 12.5mAs
Y	Cu	Y농도	Cu농도	Y농도	Cu농도
0.5	0.5	2.10	2.10	1.30	1.50
0.5	1.0	2.03	1.98	1.55	1.76
1.0	1.0	1.84	1.94	1.21	1.57
1.5	2.0	1.76	1.88	0.98	2.00

각각의 두께 0.5 mm, 75 kVp를 기준으로 Y에 대한 Cu의 비를 100%로 하여 농도비를 산출한 결과 65 ~ 68 kVp에서 농도변화는 85% ~ 94%, 69 kVp ~ 74 kVp에서 농도변화는 95% ~ 99%, 76 kVp ~ 85 kVp는 101% ~ 110%로 65 ~ 68 kVp에서는 각각 3%씩 증가하였고, 70 ~ 71 kVp로 올라가는 구간의 농도변화가 0, 제외한 나머지 구간이 모두 1%의 농도변화를 보였다(Figure 5)(Table 3).

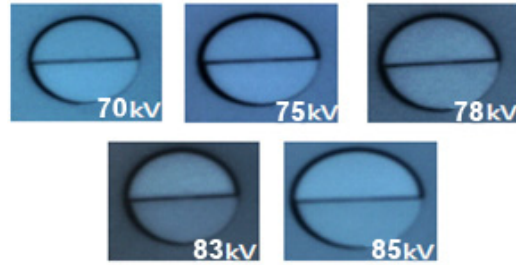


Figure 5 When tube voltage is changed, the concentration of yttrium and copper changes too, 70, 75, 78, 83, 85 kVp is from left to right, 96, 100, 103, 108, 110 %, concentration's ratio

Table 3 Results of the ratio of yttrium to copper

kVp	Cu 농도	Y 농도	Cu/Y ratio(%)
65	0.28	0.33	85
66	0.30	0.34	88
67	0.42	0.46	91
68	0.48	0.51	94
69	0.59	0.62	95
70	0.50	0.52	96
71	0.62	0.64	96
72	0.75	0.77	97
73	1.11	1.13	98
74	1.21	1.22	99
75	2.10	2.10	100
76	1.76	1.74	101
77	1.82	1.78	102
78	1.94	1.88	103
79	2.23	2.13	104
80	1.92	1.82	105
81	2.27	2.13	106
82	2.00	1.86	107
83	1.93	1.78	108
84	2.50	2.29	109
85	2.75	2.48	110

3) Cu와 Y을 통한 kVp 측정의 실효성 및 유효성 실험

선형논문에 따르면 78 kVp에서 그리고 Quart SP_dl 팬텀의 설명서에 따르면 75 kVp에서 Cu와 Y은 같은 농도를 나타내야 한다⁹⁾¹⁰⁾. Cu와 Y을 통한 kVp 측정의 실효성을 입증하기 위해 관전압을 78 kVp로, 관전류를 100 mA로 고정하고 노출시간 sec을 0.1, 0.125, 0.16 sec의 조건으로 변화시켜 Cu와 Y을 통한 kVp 측정의 실효성을 평가한 결과 같은 농도를 나타내지 못하였다(Table 4). 그리고 관전압과 관전류를 75 kVp, 100 mA 고정하고 노출시간 sec를 0.1, 0.125, 0.16 sec의 조건으로 변화시켜 Cu와 Y을 통한 kVp 측정의 유효성을 평가한 결과 같은 농도를 나타내었다(Table 5).

Table 4 Results of Cu's and Y's effectiveness in 78 kVp

촬영조건	농도	
	Cu 농도	Y 농도
78kVp, 100mA, 0.1sec	0.33	0.37
78kVp, 100mA, 0.125sec	0.76	0.83
78kVp, 100mA, 0.16sec	1.13	1.22

Table 5 Results of Cu's and Y's availability in 75 kVp

촬영조건	농도	
	Cu 농도	Y 농도
75kVp, 100mA, 0.1sec	0.30	0.30
75kVp, 100mA, 0.125sec	2.10	2.10
75kVp, 100mA, 0.16sec	0.81	0.81

4) Cu와 Y을 통한 kVp 측정의 정확성 실험

일반적으로 방사선의 강도는 $I = I_0 e^{-ux}$ 의 식을 따른다¹⁹⁾. 정확성 평가는 의료 진단용 X 선이 차폐체 종류 및 두께에 따라 방사선의 강도가 지수적으로 감소하는 것을 통해, $I = I_0 e^{-ux}$ 의 식을 이용하고, 제동방사선을 고려하여 질량 에너지 흡수계수 u_{en}/ρ 로 정확성을 평가한다. Cu의 밀도(ρ)는 실온에서 8.94 g/cm^3 이고 Y의 밀도(ρ)는 실온에서 4.472 g/cm^3 이다. 또한 Cu와 Y의 u/ρ 와 u_{en}/ρ 는 다음과 같다(Table 6)(Table 7)¹⁷⁾.

Table 6 Mass attenuation coefficient and the mass energy absorption coefficient of Cu due to the change in energy¹⁷⁾

	Cu		
	Energy	u/ρ	u_{en}/ρ
	(MeV)	(cm^2/g)	(cm^2/g)
K	0.0087989	278.4	182.4
	0.01	215.9	148.4
	0.015	74.05	57.88
	0.02	33.79	27.88
	0.03	10.92	9.349
	0.04	4.862	4.163
	0.05	2.613	2.192
	0.06	1.593	1.29
	0.08	0.763	0.5581
	0.1	0.4584	0.2949
	0.15	0.2217	0.1027

Table 7 Mass attenuation coefficient and the mass energy absorption coefficient of Y due to the change in energy¹⁷⁾

	Y		
	Energy	u/ρ	u_{en}/ρ
	(MeV)	(cm^2/g)	(cm^2/g)
K	0.0170384	102.9	46.72
	0.02	68.55	36.2
	0.03	23.3	15.58
	0.04	10.65	7.79
	0.05	5.764	4.388
	0.06	3.493	2.699
	0.08	1.607	1.228
	0.1	0.9047	0.6616
	0.15	0.3595	0.2203

75 keV에서 Cu의 질량에너지 흡수계수는 $0.741075 \text{ cm}^2/\text{g}$ 이다. 그리고 실온에서 Cu의 밀도 8.94 g/cm^3 와 부가여과 0.29 cmCu 와 실험에 이용된 Cu의 두께 0.05 cm 을 합하면 총 두께 0.34 cmCu 가 된다. 이를 이용하여 입사 방사선의 에너지가 감소되는 정도를 산출할 수 있다. 그 과정은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 I &= I_0 e^{-u_{en}/\rho \times \rho \times x} \\
 &= 75 \text{ keV} \times e^{-0.741075 \text{ cm}^2/\text{g} \times 8.94 \text{ g/cm}^3 \times 0.34 \text{ cm}} \\
 \therefore I &= 7.88 \text{ keV}
 \end{aligned}$$

75 keV일 때 Y의 질량에너지 흡수계수는 $1.59575 \text{ cm}^2/\text{g}$ 이다. 그리고 실온에서 Y의 밀도 $4.472 \text{ g}/\text{cm}^3$ 와 부가여과 0.29 cmCu와 실험에 이용된 Y의 두께 0.05 cm을 고려하여 입사 방사선의 에너지가 감소되는 정도를 산출할 수 있다. 또한 차폐체의 종류가 다르기 때문에 그 감소되는 정도는 다음과 같은 과정을 따른다.

$$\begin{aligned} I &= I_0 e^{-(u_{en1}/\rho_1 \times \rho_1 \times x_1 + u_{en2}/\rho_2 \times \rho_2 \times x_2)} \\ &= 75 \text{ keV} \times e^{-((0.741075 \text{ cm}^2/\text{g} \times 8.94 \text{ g}/\text{cm}^3 \times 0.29 \text{ cm}) + (u_{en2}/\rho_2 \times \rho_2 \times x_2))} \\ &= 75 \text{ keV} \times e^{-((1.921311045) + (1.59575 \text{ cm}^2/\text{g} \times 4.472 \text{ g}/\text{cm}^3 \times 0.05 \text{ cm}))} \\ &= 75 \text{ keV} \times e^{-2.278120745} \\ \therefore I &= 7.68 \text{ keV} \end{aligned}$$

- u_{en1}/ρ_1 : Cu의 질량에너지 흡수계수(cm^2/g)
- ρ_1 : Cu의 밀도(g/cm^3)
- x_1 : Cu의 차폐체의 두께(cm)
- u_{en2}/ρ_2 : Y의 질량에너지 흡수계수(cm^2/g)
- ρ_2 : Y의 밀도(g/cm^3)
- x_2 : Y의 차폐체의 두께(cm)

이 과정에 따라 Cu와 Y을 통한 kVp 측정의 정확성을 평가한 결과 Cu는 7.88 keV , Y은 7.68 keV 로 0.2 keV 차이를 보였다.

IV. 고찰

본 연구에서 Cu와 Y을 이용하여 kVp 정도관리 방안을 연구한 이유는 Quart SP_dl 팬텀의 kVp를 측정할 수 있는 부분이 Cu와 Y으로 구성이 되어있기 때문이고, 또한 Cu를 기준으로 삼아 Y에 대한 Cu의 비로 농도변화를 산출한 것은 Quart SP_dl 팬텀의 설명서에서 Cu와 Pb로의 실험방법이 제시되어 있었고 또한 선행실험에서도 Cu를 기준으로 실험 데이터를 산출하였기 때문이다^{9,10}.

실험장비 또한 3 대로 한정되어 있고, 실험 횟수도 50 차례 정도로 제한이 있었기 때문에 객관성이 결여될 수 있다. 향후 추가적인 실험을 통하여 보다 많은 표본 데이터를 획득하여 실험결과를 검증해야할 필요가 있다. 또한 영상을 바로 획득하는 Digital Radiography System 장비가 아닌 필름 농도를 이용하여 kVp의 측정에 이용하였기 때문에 널리 임상에서 사용하는 장비인 Digital Radiography System

과 Computed Radiography System과의 비교에는 다소 어려움이 있다고 사료된다.

실험에 이용한 Cu와 Y의 두께는 각각 0.5 mm, 1.0 mm, 1.5 mm 2.0 mm 로 굉장히 얇으므로, 피사체 자체에서 발생하는 산란선의 영향은 무방하다고 할 수 있으나 X 선 발생장치에서 발생하는 산란선에 의한 영향을 고려해야할 필요성이 대두된다. 또한 kVp 측정 시 질량감쇠계수를 사용하여 정확성 평가의 근거로 삼는 경우, X 선은 제동 복사선인 것을 고려하여 평균 에너지를 통한 평가가 이루어져야 하지만, 본 연구에서는 Quart SP_dl 사에서 제시된 설명서에 최대에너지 75 keV에서 Cu와 Y이 같은 농도를 지시하였다는 내용을 보고하였기 때문에 보수적인 평가로서 단일에너지를 통한 계산으로 결과 값을 산출하였다. 향후 연구에서는 평균 에너지를 통한 객관성의 보완이 이루어져야 할 것으로 사료된다. 평가 기준은 필름을 현상했을 때, Cu와 Y의 두께에 따른 농도의 차이를 육안을 이용한 정성적 평가와 densitometer를 이용한 정량적 평가를 통하여 비교하게 된다. 육안을 이용한 정성적 평가로만 농도를 비교하게 되는 경우 X 선 발생장치의 조건이 굉장히 안정된 상태라고 하여도 객관성에 한계가 있어 정확성을 높이기 위해 육안적 평가와 더불어 농도 측정을 통한 평가를 복합적으로 진행하여 정도 관리를 시행할 것을 권고한다. 예를 들어 75 kVp를 입력하였을 때 Cu와 Y의 농도는 같은 값을 지시해야한다. 그러나 같은 값을 지시하지 않고 Y에 대한 Cu의 비를 산출하였을 때, 98%의 농도비가 나온다면 이는 75 kVp가 아닌 73 kVp의 출력이 발생했다는 의미이다. 단, 실험에서 75 kVp에서 Cu와 Y의 두께가 각각 0.5 mm 일 때, 관전류량을 변화시켜 진행하였을 때에 같은 농도값을 지시하였으나, 16 mAs 이상으로 관전류량을 높였을 때에는 피사체 두께가 0.5 mm로 굉장히 얇음으로, 육안을 이용한 정성적 평가가 불가능 하였기에 높은 조건의 관전류량으로 정도관리 시행하는 것은 지양한다.

본 논문에서는 Cu와 Y을 통한 새로운 kVp 측정법을 제안했으나 다음과 같은 문제점을 간과할 수 없다.

우선 방사선에 인가되는 DC 전압은 AC전류를 정류해서 사용하기 때문에, 출력 DC가 일정하지 않기에 방사선 출력에 문제가 발생하여 실험 데이터 값에 영향을 줄 수 있다^{5,18}.

그리고 Cu와 Y은 전이금속이기에 산화에 의한 화학물로 순수 원자 상태의 기능을 상실하게 되는 경우에는 본 방식에 의한 kVp 측정에 오차가 발생할 수 있음을 고려하여 산화에 대한 방어책을 마련해야한다. 그러나 전이금속들이 공통적으로 가진 특성에 의하면 높은 녹는점과 끓는점을 가지고 있으므로, 실온상태에서 산화에 대한 가능성은 없다고

보고되어 있다¹²⁾. 그리고 정확한 두께로 가공 제작하여 실험을 진행 하였을지라도, 두께에 대한 정밀도에 대한 고찰이 필요하다.

본 연구의 결과와 기존의 연구 결과에서 Cu와 Y이 같은 농도를 나타내는 kVp는 75 kVp와 78 kVp로 차이를 보였으나 Quart SP_dl 팬텀의 설명서에서 제시된 것처럼 75 kVp에서 Cu와 Y은 같은 농도를 지시하고 있으므로, 본 연구가 객관성을 가지고 있다는 점을 알 수 있었다.

V. 결 론

실험결과 75 kVp에서 Cu와 Y은 같은 농도를 나타냈고, 65 ~ 85 kVp의 농도변화는 85 ~ 110%로 단계적인 증가를 보였다. 본 연구를 통해 Cu와 Y을 통한 kVp 측정의 정확성을 평가할 수 있었고, 또한 실험의 표본 수가 증가한다면 이를 기반으로 기존에 출시되어 있는 측정기 보다 값이 저렴하고 교정의 필요성이 없는 kVp meter의 제작을 통해 정도 관리 시행이 가능할 것이라고 사료된다.

참고문헌

1. Ingyu You, Cheonghwan Lim, Sangho Lee, Mankoo Lee: Performance Measurement of Diagnostic X Ray System, Journal of the Korean Society of Radiology, 6(6), 447-454, 2012
2. Radiation Health Management Textbook Compilation Committee: Radiation Control, Chung Gu Publisher, 50-54, 2004
3. Byungsam Kang, Hoonhee Park, Kyung rae Dong, Hwayeon Yeo : A Quality Control Study of the General X-ray Systems, Journal of Engineering Technology, 31-35, 2013
4. Seungyeol Lee: Records Management Business Nationwide Implementation of the Radiation Exposure Patient Dose of CT, Food and Drug Administration, 2014
5. Yeji Heo, Kyotae Kim, Sicheul Noh, Sanghee Nam, Jikoon Park: A Base Study on the Constancy Quality Control Test and Clause of Diagnosis Radiation Equipment, Journal of the Korean Society of Radiology, 8(3), 105-110, 2014
6. Jaelyong Seo: The Present Condition and Improvement Program of the Diagnostic Safety Management, Journal of the Korean Radiological Technologists Association, 260-268, 2001
7. Byungsam Kang, Kangmin Lee, Wooyoung Sim, Sunchul Park, Hakdong Choi, Youngkwan Cho: Analyze for the Quality Control of General X-ray Systems in Capital region, Journal of radiological science and technology , 35(2), 93, 2012
8. Byungsam Kang, Jinhyun Son, Seungchul Kim: Establishment of Quality Control System for Angiographic Unit, Journal of the Korea Contents Association, 11(1), 236-244, 2011
9. <http://quart.de/en/test-phantoms/radiography/quart-spd.html>(2014.08.01.).
10. Junho Hwang, Jisun Kwak, Aram Go, Uncheol Baek, Daeyoung Kim: Evaluation of the Usefulness and Effectiveness of the Tube Voltage Measured through the Cu and Y, Journal of Radiological Technology of Shingu College, 29, 87-103, 2014
11. Jinhyun Son, Junghwan Min, Kwangyeol Ryu, et al.: Experimental Study with Respect to Dose Characteristic of Glass Dosimeter for Low-Energy by Using Internal Detector of Piranha 657, Journal of radiological science and technology, 35(2), 119-124, 2012
12. Hwangyo Jung, Kyooyoung Kim: A Comparison of Effect of Yttrium Coating on the High Temperature Oxidation Resistance of Ni_3Al and TiAl alloys, Journal of the Corros Science of Korea vol26 No. 2, May, 1997
13. Namgil Choi, Hojin Seoung, Jusub Jyun, Yoonhyun kim, Donguk seoung: A Comparative Study of Image Quality and Radiation Dose according to Variable Added Filter and Radiation Exposure in Diagnostic X-Ray Radiography, Journal of Radiation Protection, 37(1), 25-34, 2012
14. Sooin Shin, Chongyeal Kim, Sungchul Kim: The Study on the Reduction of Patient Surface Dose Through the use of Copper Filter in a Digital Chest Radiography, Journal of radiological science and technology, 31(3), 223-228, 2008

15. Youngil Kim, Kwanghyon Kyong: A Study of Total Filtration of the Diagnostic X-ray Equipments, Journal of Korean Society of radiological technology, 7(1), 47-52, 1984
16. [https://ko.wikipedia.org/wiki\(2014.05.08.\)](https://ko.wikipedia.org/wiki/2014.05.08.).
17. <http://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoeff/tab3.html>(2014.03.14.).
18. Hyunsoo Lim, Bugil Kim: Establishment of Standard of Property Control for Angiographic Equipments, Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea, 41(6), 11, 61-66, 2004
19. Radiation Theory and Practice: Korea Radioisotope Association, 71-78, 2013

•Abstract

Effectiveness Evaluation of the Tube Voltage Measurement by using Additional Filter

Jun-Ho Hwang¹⁾²⁾·Kyung-Ho Lee¹⁾·Yoon-Bong Choi¹⁾·Byung-Sam Kang²⁾

¹⁾Dept. of Radiology, Kyung Hee University Medical Center

²⁾Dept. of Radiological Technology, Shingu College

Advancement in the medical field provides an opportunity for the development of medical equipment and also enable accurate diagnosis for the inspection and the treatment of diseases. The aging of equipment due to the frequent operation produce uncertainty in the patient exposure dose, so a quality control was implemented by establishing a safety management system on a regular basis. The x-ray tube voltage (kVp), which is directly involved in the patient exposure dose and the life of the equipment, needs periodic performance for the quality control, but it has a limitation due to the time and the cost.

In this study, we proposed a new method for measuring the kVp with ease by using the Y and Cu to solve the problem of the time and cost. We also evaluated the usefulness and the effectiveness of the new method and its accuracy through the kVp measurement.

After securing the condition, the amount of the tube current and evaluating the usefulness and effectiveness of kVp measured using Y and Cu. The density range used was at 0.5-1.0, kVp was in the range of $\pm 10\%$, then, we recorded the change in concentration as % of Y and Cu.

This experiment showed that when Cu and Y was at 75 kVp, concentration was the same, and when the kVp was changed to 65 ~ 85 % , a gradual increase in concentration to 85 ~ 110 % was noted.

Key Words : Quality Control, kVp, Copper(Cu) and Yttrium(Y), Mass Energy Absorption Coefficients, Concentration