

진단방사선영역에서 중원소 여과판의 물리적 특성

김영근* 동신대학교 대학원 전기전자공학과
이경섭 동신대학교 공과대학 전기전자공학과

Physical Properties of Heavy Elements as Filter in Diagnostic Radiology

Y.K.Kim* Dept. of Electrical and Electronic Eng. Dong-shin Univ. Grad.
K.S.Lee Dept. of Electrical and Electronic Eng. Dong-shin Univ.

Abstract - This work characterized in terms of the physical properties of heavy elements as reduction filter in the diagnostic radiology. From the results of experimental evaluation, it was founded that in the case of the Ho filter, the variety of X-ray property with kVp was less than those of Ba, Cu and Al. And the ratio of transit-dose to surface and the load of X-ray tube were increased in the order of Al, Ba, Cu and Ho. The contrast of X-ray image showed the higher value in the order of Cu, Al, Ba and Ho.

I. 서 론

피사체 대조도(subject contrast)에 의한 X선 강도차를 우리 눈으로 볼 수 있게 만든 필름의 농도차(film contrast)를 필름대조도라 하며 일반적으로 대조도(contrast) 또는 방사선상 대조도(Radiographic contrast)라 한다. 이러한 상의 대조도를 높이기 위해 방사선 혈관조영촬영에서는 신체조직보다 X선 흡수가 높은 요오드계 조영제를 혈관내에 주입함에 따라 X선 흡수차를 만들고 영상으로서 얻는 것을 가능케 하고 있다. 이러한 X선 감작용은 조영제의 농도 변화와 사용되는 에너지에 따라 변한다.¹⁾

따라서 혈관상의 피사체 대조도는 혈관내의 조영제의 농도, 혈관의 크기, 피사체에 있어서 산란선과 사용되는 에너지의 영향을 받는다. 혈관조영제에 사용할 X선 관전압은 60~90kVp로 일차선스펙트럼의 peak는 30~40keV 부근에 있다.

한편, 혈관 조영 촬영에 쓰이는 요오드 조영제는 k흡수단 에너지가 33.17keV에 있고, 33keV이상의 X선 에서는 요오드의 X선 흡수가 급격히 증가하고 이것보다 더 높은 에너지가 되면 천천히 감소한다.^{2,3,4)} 이 때문에 혈관조영촬영에 있어서 사용할 X선 에너지의 선택은 중요하다.

X선 스펙트럼을 바꾸어 요오드 조영제에 적절한 X선 에너지를 부여하기 위해 본 논문은 중원소 여과판(Ho, Ba)의 물성을 연구하여 요오드 조영제에 적절한 X선 에너지 조사, 피폭선량, X선관의 부하와 화질개선에 대해서 연구하였다.

II. 실험 기기 및 방법

1. 실험 기기

본 연구에서 사용된 재료는 Al, Cu, Ho, Ba filter, 요오드 조영제(필라인에 1:1 희석) 0, 5, 10, 15mm, 복부용 팬텀으로서 두께 18cm의 아크릴 수지판 등이고, 측정에 사용된 기기는 X선 발생장치(DRF-150-500), X선 에너지의 재현성, 직선성을 감시하기 위한 관전압·관전류계인 Dynal -yzerIII 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 비점속형 관전압 측정기인 Multi -function meter(RMI, Model 240A)를 사용하였고, 사진 농도 1.0을 나타내기 위해 자동현상기(DSP-5000), 필름/중감지 system(Konica Ax/Ok -amoto DMS)과 농도계 X-Rite(Model 301)등이 사용되었다.

2. 실험방법

1) X선 선질의 측정

Al, Cu, Ho, Ba filter 사용할 때 X선 선질이 변화되는 것을 알기 위해서 Non-filter, Al filter 2.0mm, Cu filter 0.2mm, Ho filter 0.105mm와 Ba filter 0.078mm를 사용하고, 관전압 60~100kVp에서 Multi-function meter로 각각 9회 측정하여 그 평균

치를 산출하여 측정치로 하였다.

2) 조사선량의 측정

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

3) 여과판 물질별 대조도 측정

대조도 비교를 하기위해 혈관성 조영제인 Iop -amiro를 2배로 희석하여 사용하였고 그 두께는 0, 5, 10, 15mm로 변화하고 각 관전압에서 형광량을 측정하여 $\frac{D_a - D_b}{D_a + D_b}$ (D_a : 피사체가 없을 때의 형광량, D_b : 피사체가 있을 때의 형광량)식에 의해 대조도를 산출하였다.

III. 실험결과

Al, Cu, Ho과 Ba filter 사용시 X선질이 변화되는 것을 알아보기 위해서 측정한 결과 표 1과 같으며 그 경향은 그림 1과 같다. 저관전압에서는 필터에 따른 선질의 변화가 크지 않으나 관전압이 높아짐에 따라 그 효과는 다르게 나타났다. 종전에 이용되고 있는 Al filter에서는 관전압이 60 kVp에서는 변화가 별로 없으나 필터의 두께가 두꺼워지고, 관전압이 70, 80, 90, 100kVp에서는 2.6~8.2kVp가 증가되고, Cu filter에서도 두께가 두꺼워지고, 관전압이 증가할수록 X선질이 경화되어 평균에너지가 증가하여 허 등^{5,6,7,8)}의 연구결과와 일치하였다. Ba 필터는 관전압, 여과판 두께 변화에서 Al 필터와 거의 같은 X선질의 변화를 나타냈다. 그러나 Ho 필터는 관전압 증가에도 X선질은 변하지 않았다.

표 1. 필터사용시 관전압의 변화

Table 1. Variation of kVp with filters.

Filter kVp	Non Filter	Al(mm)	Cu(mm)	Ho(mm)	Ba(mm)
60	59.51	59.75	60.65	59.75	59.75
70	70.10	71.45	73.88	67.65	72.50
80	81.30	83.00	84.95	78.10	83.70
90	94.56	94.56	96.10	90.25	95.85
100	103.50	105.35	107.40	103.85	107.9

표 2는 각각 70, 80kVp에서 필터를 사용하지 않을 때, 2mm Al filter, 0.2mm Cu filter, 0.105mm Ho filter와 0.078mm Ba filter 사용시 조사선량의 변화를 9회 측정하고 그 평균치를 산출하여 측정치로 해서 부가필터가 없을 때를 기준으로 하여 상대 표면선량비를 보면 Al, Cu filter는 70, 90, 80kVp 순으로 크게 나타났고, Ho, Ba filter는 90, 70, 80kVp 순으로 크게 나타났다. 이는 김 등^{9,10)}의 연구 결과와 일치 하였다. 표면선량과 투과선량은 필터 모두 kVp가 증가할수록 높게 나타났고 특히 Ho filter의 경우 표면선량이 낮게 나타난 것은 Ho filter 사용시 환자피폭선량 경

감을 의미한다. 표면선량에 대한 투과선량비는 70, 80kVp 에서는 Al, Non, Ba, Cu, Ho 순으로 크게 나타났고, 90kVp는 Non, Ba, Al, Ho, Cu filter 순으로 크게 나타났다.

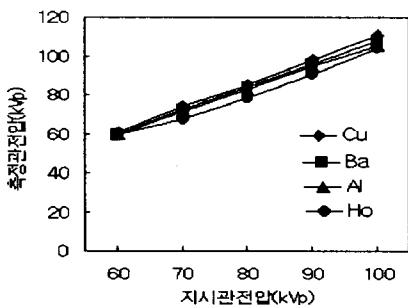


그림 1. 필터사용시 관전압의 변화
Fig. 1. Variation of kVp with filters.

표 2. Filter 사용시 조사선량의 변화
Table 2. Variation of exposure dose with filters.

kVp	구분 Filter	표면선량 (mGy)	투과선량 (mGy)	투과/표면 선량비(%)	표면선량비 (%)
70	Non-F	6.920	1.897	3.004	100.00
	Al(2mm)	4.241	0.126	2.985	61.28
	Cu(0.2mm)	1.762	0.086	4.88	25.46
	Ho(0.105)	2.45	0.13	5.306	35.40
	Ba(0.078)	5.54	0.17	3.068	80.05
80	Non-F	8.807	0.296	3.360	100.00
	Al(2mm)	5.263	0.205	3.89	69.75
	Cu(0.2mm)	2.511	0.148	5.89	25.81
	Ho(0.105)	3.22	0.196	6.086	36.56
	Ba(0.078)	7.06	0.271	3.838	80.16
90	Non-F	12.94	0.55	4.25	100.00
	Al(2mm)	6.98	0.43	6.16	53.94
	Cu(0.2mm)	3.33	0.32	9.60	25.73
	Ho(0.105)	4.025	0.280	6.95	31.10
	Ba(0.078)	8.49	0.39	4.59	65.61

표 3. Filter 사용할 때에 동일한 농도를 내는데 필요한 관전류량과 피폭선량의 변화

Table 3. Variation of mAs and surface dose needed to produce a density of 1.0 at used filters.

Film	구분	kV	mAs	표면선량	투과선량	투과/표면 선량비(%)	흡수 선량비(%)	mAs비	
Non-filter		70	33	37.736	37.168	0.568	100.00	100.00	1
		80	20	28.32	27.782	0.538	100.00	100.00	1
		90	13.7	21.67	21.165	0.505	100.00	100.00	1
Al (mm)	2.0	70	43.4	24.50	23.937	0.563	64.92	64.40	1.32
		80	26.7	19.32	18.766	0.554	68.22	67.55	1.34
		90	18.3	15.91	15.369	0.541	73.42	72.62	1.34
Cu (mm)	0.2	70	66.5	15.37	14.801	0.565	40.73	39.82	2.02
		80	35	11.38	10.84	0.495	40.18	39.18	1.75
		90	21.4	9.46	8.956	0.504	43.66	42.32	1.56
Ho (mm)	0.105	70	72.5	22.77	22.158	0.612	60.34	59.62	2.2
		80	43.2	18.66	18.066	0.594	65.89	65.03	2.16
		90	28.41	14.82	14.28	0.540	68.39	67.47	2.07
Gd (mm)		70	70	26.34	25.72	0.614	69.79	69.19	2.12
		80	40	19.43	18.87	0.556	68.60	67.92	2.0
		90	25.97	16.07	15.55	0.519	74.15	73.45	1.89
Ba (mm)	0.078	70	50	36.65	36.07	0.585	97.11	97.04	1.52
		80	28.57	26.21	26.57	0.542	100	95.60	1.43
		90	18.7	20.76	20.23	0.526	95.80	94.61	1.36

표 3은 각 필터를 사용할 때에 동일한 농도를 나타내는데 필요

한 관전류량(mAs) 및 피폭선량(mGy)의 변화를 9회 측정하여 평균치를 측정치로 한 것이다. 상대적인 mAs비는 부가필터가 사용되지 않을 때를 기준으로 Al, Ba, Cu, Ho filter 순으로 크게 나타났으며, Ho는 2.07~2.2배로 X선관의 부하를 나타내는 mAs 비가 가장 높게 나타났다.

그림은 2, 3, 4, 5는 각 필터에서 조영제 계단과 kVp 변화에 따라 형광량을 측정하고 계산식을 이용하여 대조도 값을 구한 결과를 나타낸 것이다. kVp 증가와 조영제의 두께가 두꺼워지면 대조도가 증가하고, X선질 경화 필터인 Al, Cu 필터에 비해 Ba 필터는 변화가 없으나 Ho 필터에서는 대조도 값이 크게 나타났다. 이 결과는 조영제의 감약계수(흡수)는 k흡수단인 33.17keV 이상에서 최대 흡수가 되고, Ho에서는 33~55.6keV에서 흡수가 감소하며 입사 X선 에너지가 많아지고, 55.6keV(Ho의 k흡수단) 이상에서는 흡수가 급증하여 상의 대조도의 저하 요인인 고에너지가 거의 없어지기 때문이다.

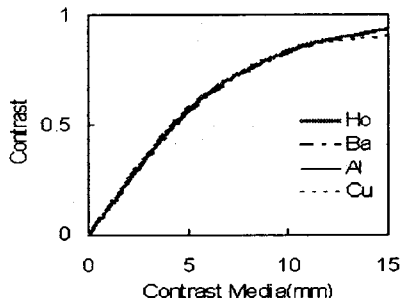


그림 2. 필터 사용시 대조도 변화(60kVp)
Fig. 2. Variation of contrast with filters (60kVp)

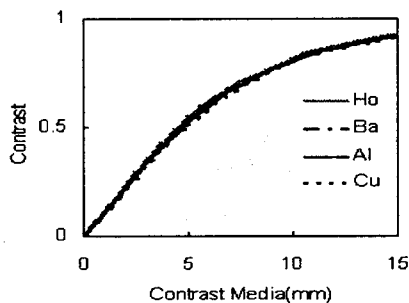


그림 3. 필터 사용시 대조도 변화(70kVp)
Fig. 3. Variation of contrast with filters (70kVp)

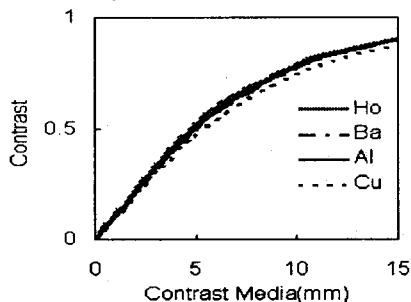


그림 4. 필터 사용시 대조도 변화(80kVp)
Fig. 4. Variation of contrast with filters (80kVp)

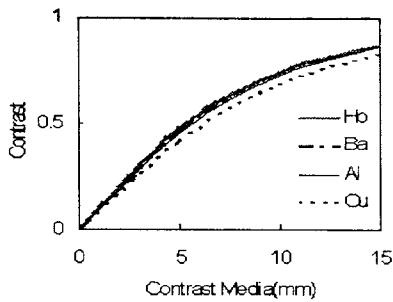


그림 5. 필터 사용시 대조도 변화(90kVp)
 Fig. 5. Variation of contrast with filters (90kVp)

이는 광전효과가 많이 발생할 때 감약이 심하고 콤퓨턴 반응이 많이 일어날 때는 감약이 감소하는 현상을 이용한 것이다.^{3,4)} 결과적으로 조영제를 사용한 혈관조영촬영에는 X선관의 부하는 높으나, 환자피폭선량 감소와 X선 사진상의 대조도 개선이라는 점에서 Ho 필터의 사용이 유용하다고 생각된다.

IV. 결 론

진단방사선 영역에서 증원소 여과관의 물리적 특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 증원소 필터(Ho)는 Ba, Cu와 Al에 비해 X선질의 변화가 없었다.
2. 투과/표면선량비는 Al, Ba, Cu, Ho 순으로 크게 나타났다.
3. X선 상의 대조도는 Cu, Al, Ba, Ho 순으로 크게 나타났다.
4. X선관의 부하는 Al, Ba, Cu, Ho 순으로 크게 나타났다.

참 고 문 헌

[1] 김영근, 이경섭, "증감지의 X선 휴효이용에 관한 연구", 대한전기학회, 추계학술대회논문집, 1998.
 [2] S. C. Thomas, E. D. James, E. C. Edward, "Introduction to the Physics of Diagnostic Radiology", Lea & Febiger, pp.113~121, 1984.
 [3] S. J. Riederer and C. A. Mistretta, "Selective iodine imaging using K-edge energies in computerized x-ray tomography", Med. Phys. Vol. 4, No. 6, 1977.
 [4] R. A. Kruger, S. J. Riederer, and C. A. Mistretta, "Relative properties of tomography, K-edge imaging, and K-edge tomography", Medical Physics, Vol. 4, No. 3, 1977.

[5] G. E. Giakoumakis, C. D. Nomicos and P. X. Sandilos, "Absolute efficiency of $Gd_2O_3:Tb$ screens under fluoroscopic conditions", phys. Med. Biol, Vol. 34, No. 6, pp. 673~678, 1989.
 [6] Stephen J. Riederer, Robert A. Kruger, Charles A. Mistretta, David L. Ergun, and Chris G. Shaw, "Three-beam K-edge imaging of iodine using differences between fluoroscopic video images: Experimental results", Med. Phys. Vol. 8, No. 4, 1981.
 [7] A. E. Burgess, G. Pate, "Voltage, energy, and material dependence of secondary radiation", Med. Phys. Vol. 8, No. 1, 1981.
 [8] 허준의 5인, "X선 피폭선량 경감용 Key-filter의 평가", 한방기학지, Vol. 20, No. 1, 1997.
 [9] 김영근, 한재진, 이경섭, "X선 진단용 조영제의 광전흡수 특성에 관한 연구", 대한방사선기술학회지, Vol. 21, No. 1, pp. 46~51, 1998.
 [10] Heang-Ping Chan, Kunio Doi, "Energy and Angular Dependence of X-ray Absorption and its Effect on Radiographic Response in Screen-Film Systems", Phys. Med. Biol., Vol. 28, No. 5, pp. 565~579, 1983.