

X-선 진단용 조영제의 광전흡수 특성에 관한 연구

광주보건대학 방사선과 · 동신대학교 공과대학 전기전자공학과*

김영근 · 한제진 · 이경섭*

- Abstract -

A Study on Characteristic of Photoelectric Absorption with Diagnostic X-ray Contrast Media

Young Keun Kim · Jae Jin Han · Kyung Sup Lee

Dept. of Radiotechnology Kawng-ju Health College

Dept. of Electrical and Electronic Eng. Dongshin Univ.

The absorption coefficient of contrast media was measured in region of diagnostic radiology.

Relative values of absorption coefficient was found the largest peak in the range of 60~70 kVp for barium sulfate and 60 kVp for iodine.

Increasing the thickness of contrast media and patient, the values of absorption coefficient was rising.

In the Radiograph, desired 70~80 kVp in the gastrointestinal digestion tract with barium sulfate and the vascular tract is before and behind 65 kVp of exposure.

I. 서 론

조영제는 1989년 Dutto가 사체에 석고제를 주입하여 생체에 조영제를 응용한 후부터,¹⁾ 소화기계통의 조영은 X선용 황산바륨이 사용되고, 혈관계통은 1928년 Swik에 의해서 watersoluble iodinated IV조영제가 최초로 사용되었고, 현재는 정맥조영에 적절한 triiodobenzoic acid가 개발되어 사용되는 모든 조영제의 기본이 되었다.²⁾

의료용 방사선에 의해 생성되는 에너지 스펙트럼은 낮은 에너지에서부터 높은 에너지까지 광범위하게 분포하며, spectrum 중심부분의 광자(光子)들은 방사선영상(radiographic image)을 형성하는데 중심적인 역할을 한다. 또한 낮은 에너지 측의 대부분은 인체에 입사하는 첫 수 cm내에서 흡수하는 까닭에 환자선량의 증가원인이 되고, 높은 에너지측의 X선 감약계수값은 낮은 대조도 영상을 형성하게 되며, 영상의 질적 저하를 가져오는 산란선에 기여한다.^{3,4,5)}

조영제를 이용한 검사에서 X선 spectrum은 조영제의 감약계수가 높은 고비율의 많은 광자량이 필요하며 영상을 형성하는 물체의 조영제는 효과적으로 입사 X선을 흡수하여야 대조도를 극대화할 수 있는데, 따라서 좋은 대조도의 영상을 제공하기 위해서는 촬영시 이용 X선 에너지가 적절하게 사용 되어야 한다.

즉 입사 X선 에너지가 조영제의 흡수단(absorption edge)과 근접 또는 약간 높아야 최대의 영상대조도를 얻을 수 있다. 예를 들어 입사 X선 에너지가 iodine의 K흡수단 보다 약간 낮으면 iodine의 질량흡수계수(mass absorption coefficient)는 6.6 cm²/g로 X선 흡수가 낮지만 흡수단보다 약간 높은 경우 흡수계수가 36 cm²/g로 급격히 증가하면서 X선 흡수도 급증하며 대조도가 높은 영상을 제공한다. 조영술에서는 조영제에 따른 관전압 선택이 화질에 결정적인 역할을 하게 된다.⁶⁾

조영제에 대한 연구는 조영제의 구성성분, 특성 및 부작용 발생에 대한 비교 연구와 촬영조건, 피폭선량 및 화질개선에 대한 연구가 지금까지 활발하게 되어왔으나 본 연구에서는 X선 흡수 차를 크게 할 목적으로 쓰이는 조영제의 물리적 특성인 흡수계수(μ)가 관전압, 피사체 두께, 조영제 두께(cc/cm), 농도(W/V%)의 변화에 어떻게 나타나는지 조사하고, 관전압 변화에 따른 바륨, 요오드계의 흡수단이 X선상에 미치는 영향에 대해 고찰하였다.

II. 실험기기 및 방법

조영제의 흡수계수를 구하기 위해 Ba.제제 T제약-120, 140(W/V%)을 각각 0.5cc/cm, 1cc/cm, 1.5cc/cm, 2cc/cm,

T제약 320[®] 원액과 셀라인에 50%로 희석시킨 iodine제 제 각각 0.25cc/cm³, 0.5cc/cm³, 0.75cc/cm³, 1cc/cm³를 흡수체로 사용하고, 피사체의 두께를 변화시키기 위해 인체조직 등가물질인 acryl 두께가 10~25cm를 사용하였으며, 관전압(kVp)은 50~110 kVp를 조사하였다.

X-선 흡수계수(μ)는 (1)식과 같이 산출되었다.

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu d}$$

$$\mu = \frac{-\ln \frac{I}{I_0}}{d} \dots \dots \dots (1)$$

I : 1차 X선의 투과 강도
 I₀ : 물질(피사체)을 투과한 X선의 강도
 d : 물질의 두께

측정에 사용된 기기는 X선발생장치(DRF-150-500), 선량계(Ion Chamber Radical Corporation Model 2026)로서 그 block diagram은 그림 1과 같다.

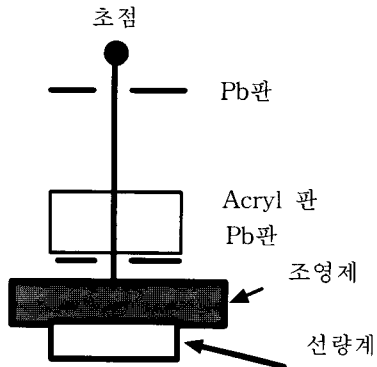


Fig. 1. A block diagram of experiment apparatus

Ⅲ. 실험 결과

관전압, 조영제의 두께, 조영제의 농도와 피사체의 두께 변화에 따른 황산바륨, 요오드제제의 흡수계수 상대값(%)을 그림 2~17에 나타냈다. 바륨제제의 흡수계수를 알아보기 위해 그림 2~5는 바륨(120), 그림 6~9는 바륨(140), 바륨제제의 두께는 각각 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 cm, phantom의 두께는 10, 15, 20, 25 cm, kVp는 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110을 사용하였다. 그림 2~9에서 바륨제제

의 농도가 클수록 바륨의 두께와 phantom의 두께가 두꺼울수록 주어진 에너지 범위에서 X선 감약이 크게 나타났으나, kVp는 phantom의 두께가 10, 15 cm일 때 60 kVp가, 20, 25 cm에서는 70 kVp에서 X선 흡수계수의 상대값이 최대가 되었다.

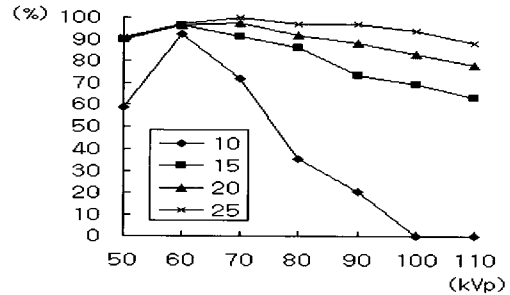


Fig. 2. Relative values(%) of absorption coefficient for Ba.(120) 0.5 cc/cm³

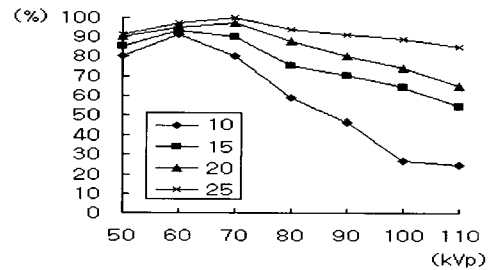


Fig. 3. Relative values(%) of absorption coefficient for Ba.(120) 1.0 cc/cm³

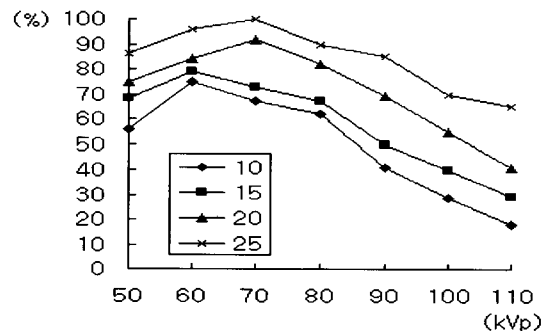


Fig. 4. Relative values(%) of absorption coefficient for Ba.(120) 1.5 cc/cm³

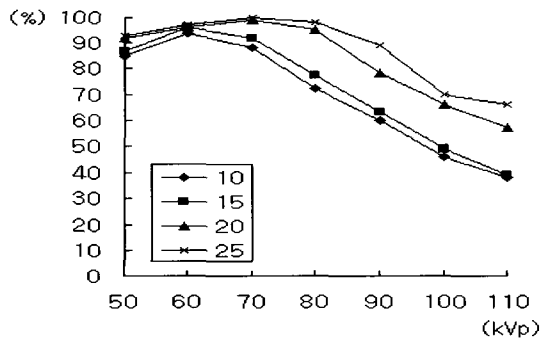


Fig. 5. Relative values(%) of absorption coefficient for Ba.(120) 2.0 cc/cm³

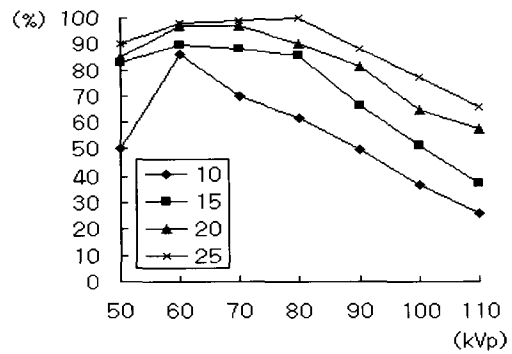


Fig. 8. Relative values(%) of absorption coefficient for Ba.(140) 1.50 cc/cm³

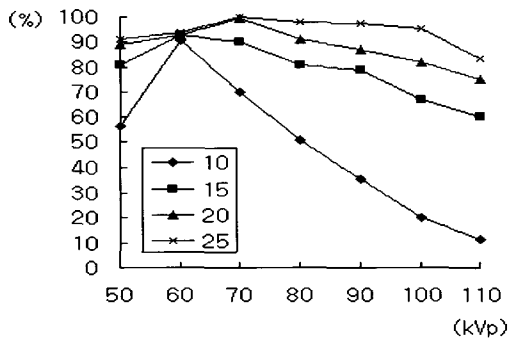


Fig. 6. Relative values(%) of absorption coefficient for Ba.(140) 0.50 cc/cm³

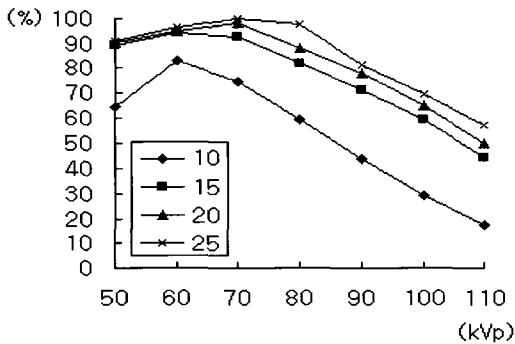


Fig. 7. Relative values(%) of absorption coefficient for Ba.(140) 1.0 cc/cm³

그림 10~16은 요오드제제 흡수계수의 상대값(%)을 나타낸 것으로 요오드 농도(50%, 100%)와 두께(0.25, 0.50, 0.75, 1.0 cm)를 변화시켜 실험한 결과 농도와 두께가 증가 할 수록 X선 흡수는 커지며, I(50%, 100%)는 phantom의 두께가 증가해도 60 kVp 부근에서 최대의 흡수계수 상대값(%)이 나타났다.

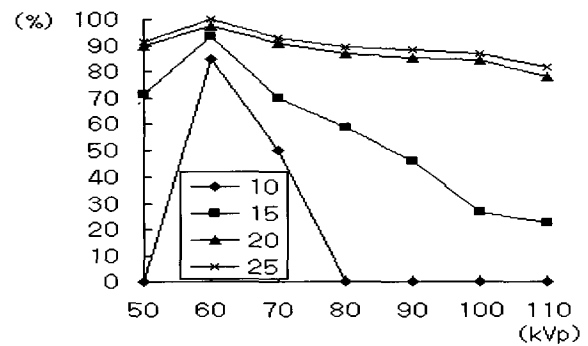


Fig. 9. Relative values(%) of absorption coefficient for I.(50%) 0.25 cc/cm³

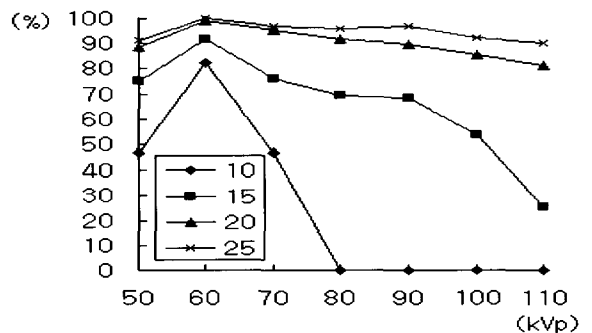


Fig. 10. Relative values(%) of absorption coefficient for I.(50%) 0.50 cc/cm³

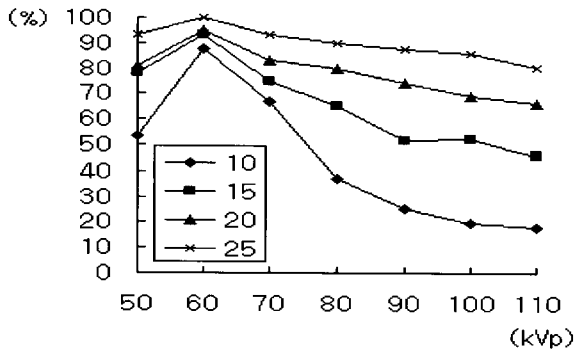


Fig. 11. Relative values(%) of absorption coefficient for I.(50%) 0.75 cc/cm³

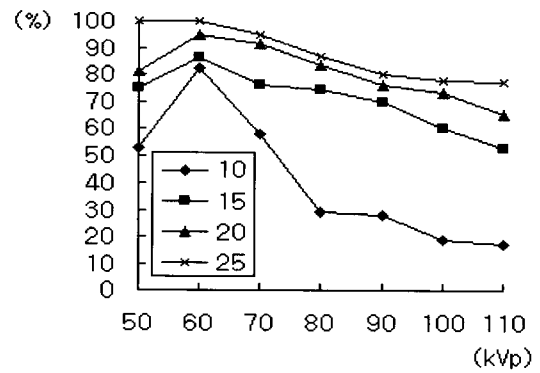


Fig. 14. Relative values(%) of absorption coefficient for I.(100%) 0.50 cc/cm³

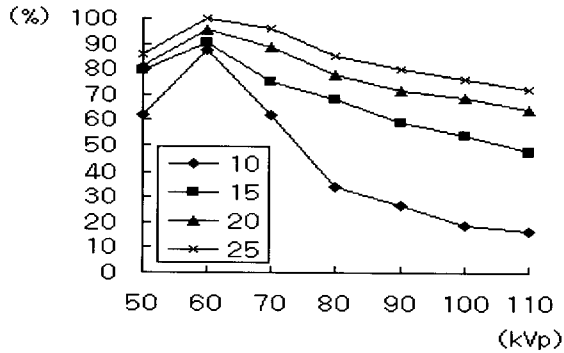


Fig. 12. Relative values(%) of absorption coefficient for I.(50%) 1.0 cc/cm³

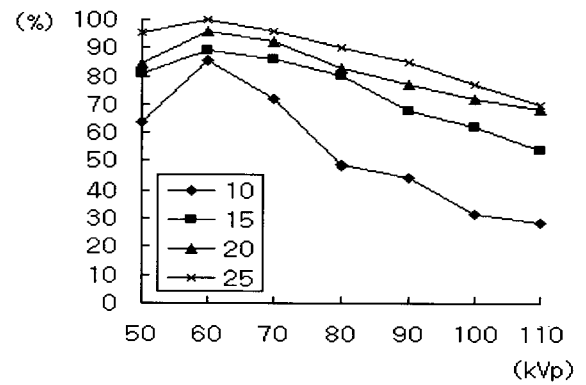


Fig. 15. Relative values(%) of absorption coefficient for I.(100%) 0.75 cc/cm³

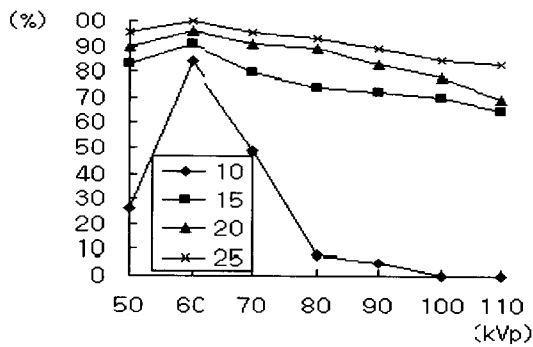


Fig. 13. Relative values(%) of absorption coefficient for I.(100%) 0.25 cc/cm³

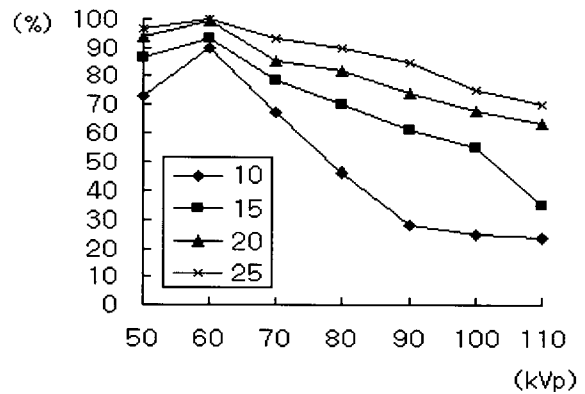


Fig. 16. Relative values(%) of absorption coefficient for I.(100%) 1.0 cc/cm³

IV. 고찰

임상에 사용되는 조영제는 X선 흡수를 목적으로 사용되어 주변 조직간의 대조도를 크게 하는데 기여한다.⁶⁾ 조영제는 X선 조사 후 피사체와 상호작용시 광전효과가 많이 발생할 때 흡수를 크게 하며,^{1,6,7)} 조영제가 효과적으로 입사 X선의 흡수를 극대화해야 좋은 대조도의 영상을 제공할 수 있는데, 입사 X선 에너지가 조영제의 흡수단(absorption edge)과 근접 또는 약간 높아야 최고의 흡수계수(μ)를 얻을 수 있다.¹⁾ 예를 들면, 바륨의 경우도 K 흡수단이 37.4 keV로 바로 위 수준에서 흡수는 최대가 된다.^{8,9,10)}

의료용 방사선에 사용되는 X선 관전압의 사용범위는 50~150 kVp이며, 이 X선은 여러 파장(polychromatic radiation)으로서 평균에너지는 최대에너지의 1/3~1/2 정도이다.¹⁾

황산바륨의 경우, K흡수단이 그림 17에서 37.4 keV인데, 그림 2~8과 같이 진단방사선에서는 관전압이 60~70 kVp 영역에서 가장 높은 흡수계수(μ)의 상대값을 보여주고 있다.

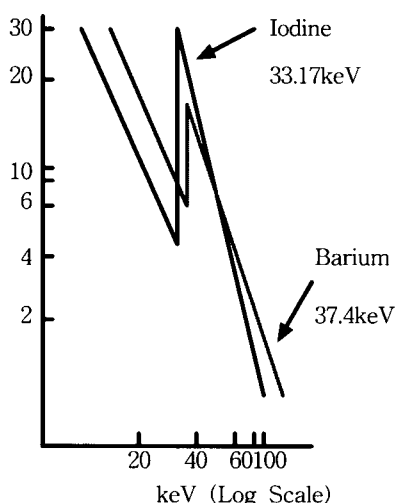


Fig. 17. The absorption coefficient of iodine and barium sulfate

요오드는 K흡수단이 그림 17에서 33.17 keV로 나타났는데, 진단방사선에서는 그림 9~16과 같이 60 kVp에서 가장 높은 흡수계수(μ) 상대값을 보여주고 있다.

요오드는 60 kVp에서, 바륨은 60~70 kVp에서 흡수계수(μ)의 상대값이 최대가 되는 것은 조영제 K흡수단과 X-선의 평균에너지의 상호관계에서 나타난 결과이다.

그리고 그림 2~9에서 볼 수 있듯이 감약의 최대값은 60 kVp에서 70 kVp로 이동하였는데 피사체가 두꺼워지면 조영제에 도달하는 평균에너지 저하로 증가된 최대에너지가 필요하게 된다. 일정한 조건에서 70 Kvp 이상은 조

영제의 흡수값이 급격히 저하되므로 상의 대조도 또한 감소된다. 따라서 적절한 kVp설정은 화질향상에 기여하게 될 것이다.

宇佐美 公男¹³⁾ 보고에 따르면 바륨 제제를 이용한 소화기계 검사에 자동 기기를 사용할 때 투시조건은 acryl 10 cm, 20 cm, 15 cm일 때, 각각 65 kVp, 72 kVp, 86 kVp로 했을 때 우수한 화상으로 나타났고, 혈관검사에 사용되는 요오드 제제는 Siemens, 필립스사 자동 기기에서 초기 노출 설정은 63~65 kVp로 되어있고 환자의 두께가 증가할 때는 관전압이 상승하도록 되어 있다. 이러한 자료는 이 실험의 결과와 거의 일치하였다.

조영제의 농도, 두께와 피사체의 두께변화에서는 조영제의 농도보다는 조영제의 두께에 의해서 X선 감약이 이루어지며, 피사체가 두꺼워지면 조영제와 주변조직의 흡수계수(μ) 차이가 작아진다.^{14,15,16)}

그림 2~16에서 피사체 두께가 두꺼워짐에 따라 X선 감약 상대값(%)이 점점 상승하여, 흡수계수 차이가 작아지며, 조영제의 두께(cc/cm)에 따라서도 X선 감약이 점차 증가함을 볼 수 있었고, 조영제 두께와 농도의 두께 변화에 따라 X선 감약은 이루어지나 광전흡수에는 직접적인 영향을 주지 않아 이론과¹⁷⁾ 일치하였다.

V. 결론

진단방사선 영역에서 사용되는 조영제의 물리적 특성인 흡수계수(μ) 상대값(%)을 측정한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 황산바륨 제제는 60~70 kVp범위에서 흡수계수(μ)의 상대값이 크게 나타났다.
2. 요오드 제제는 60 kVp에서 흡수계수(μ)의 상대값이 크게 나타났다.
3. 최대의 흡수계수값을 얻기 위해서는 피사체의 두께가 증가하면 조영제에 도달하는 평균에너지 저하로 증가된 최대에너지가 요구된다.
4. 황산바륨, 요오드 제제의 흡수계수(μ)의 상대값은 두께가 증가하면 높게 나타났다.
5. 촬영시 바륨을 사용하는 소화기계통은 70~80 kVp, 요오드를 사용한 혈관계통은 65 kVp 전후의 노출이 요구된다.

참고 문헌

1. 四宮 惠次 : “増感紙の X線 energy 有効利用に 關する 研究”, 日本技學誌, Vol. 43(9), pp. 1435~1450, 1987.
2. 조평근외 4인 : “조영제의 구성성분과 특성 및 부작용발생에 대한 비교”, 대한방사선사협회지 제23권 1호, pp. 27~31, 1997.
3. Jorge E, Villagran, M. Sc., Barry B. Goobbs, M. D., F. R. C. P(C), and Kenneth W. Taylor, Ph. D. : “Reduction of Patient Exposure by Use of Heavy

- Elements as Radiation Filters in Diagnostic Radiology¹⁾", *Radiology* pp. 127, 249~254; 1978.
4. R. BIRCH : "Computation of Bremsstrahlung X-ray Spectra and Comparison with Spectra Measured with a Ge(Li) Detector", *PHYS. MED. BIOL.*, Vol. 24(3), pp. 505~517, 1979.
 5. Michel M. Ter-Pogossian : "The Physical Aspects of Diagnostic Radiology", Hoeber Medical Division, pp. 254~260, 1969.
 6. Edward E. Christensen, Thomas S. Curry, James E. Dowdey : "An Introduction to the Physics of Diagnostic Radiology", Lea & Febiger, pp. 165, 1978.
 7. Edward E. Christensen, Thomas S. Curry, James E. Dowdey : "An Introduction to the Physics of Diagnostic Radiology", Lea & Febiger, pp.165, 1978.
 8. A Calicchia, M Gambaccini, P L Indovina, F Mazzei and L Pugliani : "Niobium Molybdenum K-edge Filtration in Mammography : Contrast and Dose Evaluation", *Phys. Med. Biol*, vol. 41, pp. 1717~1726, 1996.
 9. Horacio J Patrocinio, Jean-Pierre Bissonnette, Marc R Bussiere and L John Schreiner : "Limiting Values of Backscatter Factors for Low-Energy X-ray Beams", *Phys. Med. Biol*, vol. 41, pp. 239~253, 1996.
 10. G E Giakoumakis, C D Nomicos and P X Sandilos : "Absolute Efficiency of Gd₂O₃ : Tb Screens under Fluoroscopic Conditions", *Phys. Med. Biol*, vol. 34, No 6, pp. 673~678, 1989.
 11. Miller. R. E. : Barium sulfate suspensions, *Radiology*, pp. 241, 1965.
 12. Stacy, G. S., and Loop, J. W. : Unusual small bowel disease, method, and obstructions, *Am. J. Roentgenol*, pp. 1072, 1964.
 13. R M Harrison : "Tissue-Air Ratios and Scatter-Air Ratios for Diagnostic Radiology(1~4 mm Al HVL)", *Phys. Med. Biol*, vol. 28, NO. 1, pp.1~18, 1983.
 14. Heang-Ping Chan and 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.
 15. B Grosswendt : "Backscatter Factors for X-rays Generated at Voltages between 10 and 100 kV", *Phys. Med. Biol*, vol. 29, No 5, pp. 579~591, 1984.
 16. 宇佐美 公男 他2人 : "増感紙の X-線 spectra 依存性", *日本放射線技術學會雜誌*, 第46卷 第1号, pp. 7~13, 1990