

진단 방사선 영역에서 증감지의 물성에 관한 연구

논문
12-9-12

A Study on the Physical Properties of Intensifying Screens in the Region of Diagnostic Radiology

김영근*, 구할본**, 이경섭***

(Young-Geun Kim*, Hal-Bon Gu**, Kyung-Sup Lee***)

Abstract

The Physical properties of intensifying screens[CaWO₄(W), Gd₂O₃ : Tb(Gd), BaFCl : Eu(Ba)] in the region of diagnostic radiology were investigated through analysis of absorption coefficient(μ), absorption efficiency(η) and absorbed energy ratio(R). It was found that the absorption coefficient was increased in the order of Ba(W)Gd. The absorption efficiency was the highest in case of Gd. And the discontinuous points on the X-ray spectra with Gd and Ba were observed at approximately 80kVp and 90kVp, respectively. And also it was found that the absorbed energy ratio with CaWO₄ screen showed the highest value. Therefore, We assumed that CaWO₄ intensifying screen was useful in the general photographing without contrast media.

Key Words(중요용어) : Intensifying screen(증감지), Phosphor(형광체), Absorption coefficient(흡수계수), Absorption efficiency(흡수효율), Absorbed energy ratio(흡수에너지비)

1. 서 론

X-선 상의 형성과정에서 증감지는 환자가 받는 X-선량과 화질을 결정짓는데 중요한 역할을 한다. 증감지를 사용한 X-선 사진의 화질향상과 방사선 피폭의 절감은 이 분야에 관여하고 있는 연구자들에게 주어질 커다란 과제이다. 최근 이 분야의 첨단기술로는 디지털 화상 처리기술이 있지만, 이 기술을 이끌어 온 것은 현재까지 진단의 주류가 되고있는 전통적인 screen/film system이다. W. C. Röntgen(1895)에 의해 X-선이 발견된 직후에 개발된 CaWO₄ 증감지에 의한 직접촬영기술은 현재까지도 이어지고 있으며, X-선 장치를 비롯한 관련 기기의

개발과 함께 사진화질을 향상시키는데 크게 기여하고 있다¹⁾. 그 후 증감지의 종류는 다양화 되어가고 있다.

특히, 1970년대에는 환자에 대한 조사선량 경감과 사진의 화질을 향상시키기 위하여 증감지와 필름을 개량하는 연구가 시작되었다.

1972년에 R. A. Buchanan등²⁻⁴⁾은 희토류 형광체를 증감지에 응용하여 직접촬영에 실용화하게 되었다. X-선용 희토류 형광체 증감지는 CaWO₄ 증감지에 비하여 고가이지만 높은 발광효율이 있어 증감지의 특성을 비약적으로 높일 수 있었으며, 특히 환자의 X-선 조사선량 경감과 양질의 의료 정보 전달에 크게 기여하였고⁵⁻⁷⁾, 단시간 촬영, 소초점 X-선관의 이용과 희토류 증감지/ortho film system의 개량 등으로 사진화질이 더욱 향상되고 있다. 현재 각급 의료 기관에서 사용되고 있는 증감지의 종류는 전세계 유명회사에서 판매되고 있는 것만도 27종에 달하고 있다⁸⁾. 이렇게 다양한 증감지가 개발되어 이용되고 있으나 실제 임상 응용에서 화질을 향상시키고 조사선량 경감에 대응하기 위해서는 촬영목적에 따르는 증감지를 선정해야 하며, 이에 대한 보고는 많지만⁹⁻

* : 동신대학교 대학원 전기전자공학과

** : 전남대학교 전기공학과

*** : 동신대학교 전기전자공학과

(전남 나주시 대호동 252, Fax : 0613-330-2909 E-mail : kslee@dongshinu.ac.kr)

1998년 11월 28일 접수, 1999년 8월 24일 심사완료

¹²⁵I 증감지를 사용했을 때 X-선 발생장치에서 발생된 X-선 에너지가 효율적으로 이용되는가를 결정하기 위한 연구가 많이 되어있지 않기 때문에, 본 연구에서는 CaWO₄ 증감지(W), BaFCl : Eu 증감지(Ba)와 희토류 증감지인 Gd₂O₃ : Tb(Gd)를 사용해서 연속 X-선 에너지 변화에 따른 형광체의 흡수계수(μ), 흡수효율(η), 흡수에너지비(R)를 구하여 진단 방사선 영역에서 증감지에 대한 물성과 화질에 미치는 영향을 연구 분석하였다.

2. 이 론

증감지의 X-선 spectra 의존성을 나타내는 그림 1에서 단색 X-선 에너지 증가에 따른 W, Gd와 Ba 형광체의 질량에너지 흡수계수(μ_m)를 나타내고 있으며, 그림 1의 불연속점은 K-흡수단이 Gd는 50.22 keV, Ba는 37.38keV, W은 69.48keV 영역에 존재하여 광전흡수가 발생되었기 때문이다^{13, 14}. 또한, 에너지가 증가함에 따라 투과 X-선이 증가하여 질량 에너지 흡수계수가 감소하고 있다¹⁵.

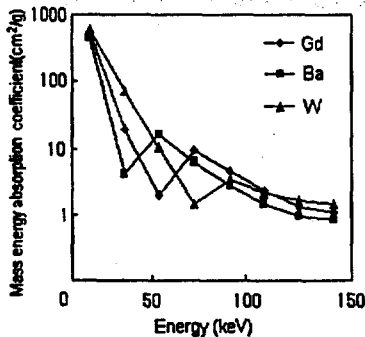


그림 1. 형광체의 질량에너지 흡수계수
Fig. 1. Mass energy absorption coefficients of phosphors.

그림 2(A)는 단색 X-선에서 X-선 광자의 spectra의 본포를 나타낸 것이고, 그림 2(B)는 연속 X-선에서 X-선 광자의 spectra를 나타낸 것인데, phantom의 두께가 증가할수록 X-선 광자 spectra는 작아지고, 선질은 고에너지로 이동, 경화되어 고에너지 성분이 증가한다¹⁶.

또한, 연속 X-선으로서 평균에너지(mean kVp)는 그림 2(B)에서 최대에너지의 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ 정도이다^{17, 18}.

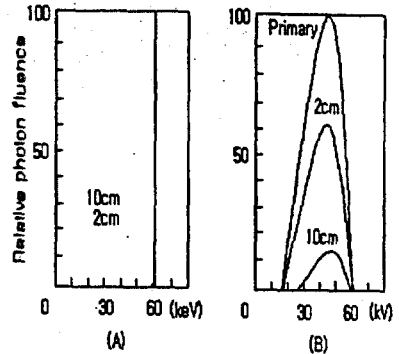


그림 2. 물 Phantom을 투과한 X-선 스펙트럼
(A) 60keV 단색 X-선
(B) 60kV 연속 X-선

Fig. 2. Normalized X-ray spectra of transmitted water phantom
(A) 60keV monochromatic X-ray
(B) 60kV continuous X-ray.

진단방사선 영역에서 증감지의 물리적 특성을 얻기 위한 흡수계수(μ), 흡수효율(η), 흡수에너지비(R)는 각각 식 (1), (2), (3)에 의해서 산출되었다.

$$\text{흡수계수}(\mu) = \frac{-\ln \frac{I}{I_0}}{d} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{흡수효율}(\eta) &= \frac{\text{형광증감지에 흡수된 X선 에너지}}{\text{형광증감지에 입사하는 X선 에너지}} \quad (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{흡수에너지비}(R) &= \frac{\text{얇은 피사체를 투과한 형광체의 X선 흡수에너지}}{\text{두꺼운 피사체를 투과한 형광체의 X선 흡수에너지}} \quad (3) \end{aligned}$$

3. 실험

본 연구에서는 CaWO₄(W), Gd₂O₃ : Tb(Gd), BaFCl : Eu(Ba)계 증감지를 사용하였고, 피사체의 두께를 변화시키기 위해서는 인체조직 등가물질인 두께 2~10cm의 acryl phantom을 사용하였으며, 관전압(kVp)는 50~120kVp를 조사하였다. 측정에 사용된 기기는 X-선발생장치(DRF-150-500), X-선 에너지의 재현성을 감시하기 위해 관전압·관전류계

인 Dynalyzer III U high voltage unit(Radical Co. USA), 조사선량을 측정하기 위해서는 PMX-II (RTI, Serial No. 1058)가 사용되고, 증감지의 두께를 측정하기 위해 SEM(JEOL JDM 5400)을 사용하였다.

4. 결과 및 고찰

진단용 X-선 증감지의 물성을 조사하기 위해 X-선 에너지의 강도, 피사체의 두께변화와 증감지의 형광체 종류에 따르는 흡수계수(μ), 흡수효율(η), 흡수에너지비(R)를 측정한 실험 결과 증감지의 흡수계수

(μ)는 그림 3, 4, 5에서 kVp와 phantom의 두께 변화에도 Ba, W, Gd 순으로 흡수계수가 크게 나타났고, kVp가 증가함에 따라 흡수계수가 전체적으로 감소함을 알 수 있었으며, phantom의 두께가 증가할수록 흡수계수가 감소하며 각 증감지의 흡수계수의 차도 줄어든 것을 알 수 있다. 또한, 평균에너지 범위에서 단색 X-선 K흡수단이 Gd은 50.22keV, Ba은 37.38keV인 데, 연속 X-선에서 K각의 흡수가 Ba은 phantom을 사용하지 않을 때 70kVp와 phantom 10cm일 때 90kVp에서, Gd은 phantom을 사용하지 않을 때 80kVp와 phantom 10cm일 때 100kVp에서 나타났다. 이것은 피사체에 의한 X-선

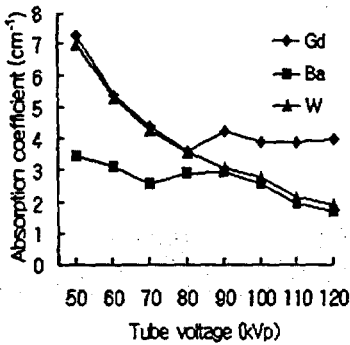


그림 3. 연속 X-선에서 증감지의 흡수계수(μ)(non-phantom)

Fig. 3. Absorption coefficient of some phosphors with continuous X-ray(non-phantom).

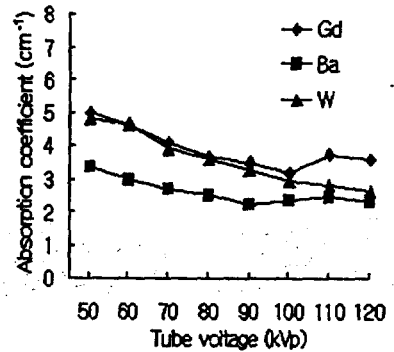


그림 5. 연속 X-선에서 증감지의 흡수계수(μ)(10cm phantom)

Fig. 5. Absorption coefficient of some phosphors with continuous X-ray(10cm phantom).

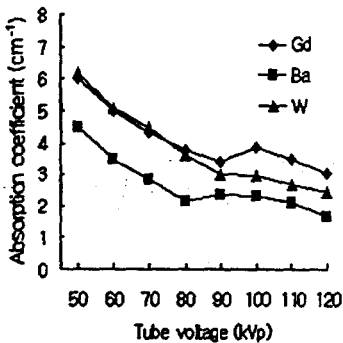


그림 4. 연속 X-선에서 증감지의 흡수계수(μ)(6cm phantom)

Fig. 4. Absorption coefficient of some phosphors with continuous X-ray(6cm phantom).

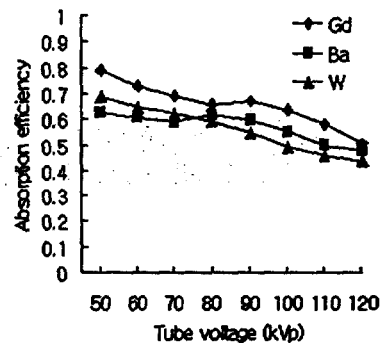


그림 6. 연속 X선에서 증감지 흡수효율(η)(2cm phantom)

Fig. 6. Absorption efficiency of some phosphors with continuous X-ray(2cm phantom).

변화에 따른 관전압의 평균에너지(mean kVp) 변화에 관계가 있다.

그림 6과 7은 각각 2cm phantom과 10cm phantom에서 흡수효율(η)을 나타내고 있다. 그림 6에서 흡수효율(η)은 W, Ba, Gd, 순으로 크게 나타남을 알 수 있다. kVp 증가로 흡수효율이 저하되고 있고, 0kVp에서 W와 Ba이 역전 되어지는 형태로 나타내는데 이는 Ba의 K-흡수단에서 광전흡수가 일어났기 때문이라고 생각된다. 형광체의 K-흡수단 에너지에서 흡수효율(η)은 크게 변화하고, 불연속인 곡선이 된다. 이 부분을 상세히 보면, 언제나 K-흡수단의 에너지 영역에서 흡수효율(η)은 불연속곡선으로 나타나고, 동시에 phantom 두께 변화에 따른 흡수효율(η)의 차로 나타나 있다. K-흡수단 보다 낮은 X-선 에너지는 phantom의 두꺼운 쪽이 흡수효율이 높고, K-흡수단보다 높은 X-선 에너지에서는 역으로 그림 6에서 phantom의 얇은 쪽이 높게 되어 있음을 알 수 있다. 이 현상은 전자에서는 phantom의 두께가 두꺼운 만큼 투과 X-선 중에 저 에너지의 산란 X-선 성분이 증가하고, 형광체의 K-흡수단 이하의 흡수계수 증가도 있게 되어서 X-선 흡수선량이 증가하고, 후자에서는 phantom의 두께가 얇은 만큼 산란 X-선 선량이 감소하고, 고에너지의 X-선 성분이 많기 때문에 K-흡수단 이상의 흡수계수 증가에 의하여 X-선 흡수선량이 증가하는 것으로 생각할 수 있다.

또한, W은 K-흡수단 영역이 보이지 않아 그림 7에서 phantom의 두께에 대한 흡수효율의 저하가 크게 나타났다. 영상의 contrast를 대비하는 흡수에너지비(R)는 그림 8에서 Gd, Ba, W 순으로 크게 나타났다. 이는 phantom의 두께가 두꺼울수록 W의 흡수효율이 급격히 줄어들기 때문이라 생각된다. 그리고 Ba은 80kVp 부근에서, Gd은 90kVp 부근에서 불연속점이 보이는데 이것은 K-흡수단의 광전흡수 결과에 의한 것이다.

이상에서와 같이 Gd은 W에 비해 X-선 흡수와 흡수효율이 크게 나타나 동일 감도에서 환자의 피폭선량 감소, 단시간 촬영과 초소점 X-선관의 이용에서 양질의 의도 정보 전달에 기여하였고, W은 Gd에 비해 X-선상의 contrast에 대응하는 흡수에너지비(R)가 높아 일반 촬영에서 유리하다고 생각되어진다. Barium step에 의한 측정에서는 50.22keV에서 Gd의 K흡수단이 있는 Gd_2O_3 : Tb 증감지와 37.40keV에서 K흡수단이 있는 Ba 조영제의 X-선 흡수가 관계하여, Gd_2O_3 : Tb 증감지는 조영제가 부가됨에 따라 흡수차가 커지게 되어 $CaWO_4$ 증감지

보다 상의 Contrast에 대응하는 흡수에너지비(R)가 높게 나타났었다. 따라서 일반 촬영에서는 $CaWO_4$ 증감지를 사용하는 것이 유리하다고 생각되어지며, 위·열판 조영촬영에서는 희토류 증감지(Gd_2O_3 : Tb) 사용이 적합하다고 할 수 있다.

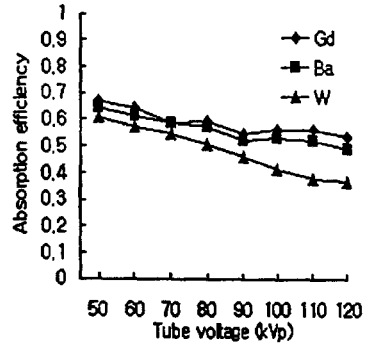


그림 7. 연속 X선에서 증감지 흡수효율(η)(10cm phantom)

Fig. 7. Absorption efficiency of some phosphors with continuous X-ray(10cm phantom).

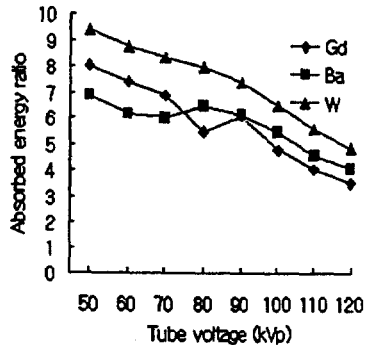


그림 8. 연속 X선에서 증감지 흡수에너지비(R)
Fig. 8. Absorbed energy ratio of some phosphors with continuous X-ray.

5. 결 론

진단방사선 영역에서 증감지의 물성을 알아보기 위해서 흡수계수(μ), 흡수효율(η)과 흡수에너지비(R)를 구하고, 이에 따른 X-선 영상에 미치는 영향을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 흡수계수(μ)

는 Ba, W, Gd 순으로 크게 나타났고, 두께와 kVp 증가에 따라 그 값이 감소한다. 형광체의 흡수와 관련된 흡수효율(η)은 Gd에서 가장 크고, Ba은 80kVp, Gd은 90kVp 부근에서 불연속점이 나타났다. 또한, 영상의 contrast에 대응하는 흡수에너지비(R)는 W에서 가장 크고, 입사에너지가 클수록 흡수에너지비(R)는 작게 나타났다. 이러한 증감지 물성 때문에 일반촬영에서는 CaWO₄ 증감지, 위·혈관 조영촬영에서는 희토류증감지 사용이 유용함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 内田 他 2人, 放射線画像情報工学(1), 通常産業研究社, pp. 319~320, 1980.
2. R. A. Buchanan, S. I. Finkelstein, K. A. Wickersheim, "X-ray Exposure Reduction Using Rare-Earth Oxysulfide Intensifying Screens", Radiology, Vol. 105, pp. 185~190, 1972.
3. S. C. Thomas, E. D. James, E. C. Edward, "Introduction to the Physics of Diagnostic Radiology", Lea & Febiger, pp. 113~121, 1984.
4. C. B. Stewart, "Radiologic Science for Technologists, Physics, Biology and Protection", The C. U. Mosby Company, pp. 250~255, 1984.
5. 許俊, "稀土流 増感紙의 Film에 對限 評價", 韓國放射線技術研究會, Vol. 4, No. 1, pp. 3~7, 1981.
6. 許俊 外 4人, "Fuji 稀土類増感紙와 正色性필름에 關한 檢査, -非正色性 Film系와의 比較-", 大韓放射線技術學會誌, Vol. 9, No. 1, pp. 83~87, 1986.
7. 許俊 外 1人, "稀土類増感에 關한 研究", 韓國

- 放射線技術研究會誌, Vol. 1, No. 1, pp. 15~24, 1978.
8. 四官惠次, "増感紙의 X線 energy 有效利用에 關한 研究", 日本放射線技術學會雜誌, Vol. 43, No. 9, pp. 1435 1450, 1987.
9. R. P. Rossl, W. R. Hendes, C. R. Ahrens, "An Evaluation of Rare Earth Screen/Film Combinations", Radiology, Vol. 121, pp. 465~471, 1976.
10. 許俊, 放射線像情報學, 新光出版社, pp. 145~154, 1991.
11. 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.
12. 山本 登 他 11人, "血管造影に 使用する 増減紙 フィルムの組合せとコントラスト", 日本放射線技術學會雜誌, 第42卷, 第7號., pp. 962~972, 1986.
13. 宇佐美 公 男 他 2人, "増感紙의 X線 spectra 依存性", 日本放射線技術學會雜誌, 第46卷, 第1號., pp. 7~13, 1990.
14. J Hunger, P. Wust, C. Claussen, R. Felix, "Evaluation of X-ray Beam Quality Film-screen Combinations for Detection of small Low-contrast Objects", Phys. Med. Biol., Vol. 37, No. 2, pp. 343~355, 1992.
15. 김영근, 한재진, 이경섭, "X-선 진단용 조영제의 광전흡수 특성에 관한 연구", 대한방사선기술회지, Vol. 21, No. 1, pp. 46~51, 1998.
16. 大茄昭義, "増感紙의 X線 Energyによる 寫眞 コントラスト의 變化", 日本放射線技術學會雜誌, 第43卷, 第7號., pp. 760~766, 1987.