

## 진단방사선 영역에서 증감지의 유효이용에 관한 연구

광주보건대학 방사선과 · 동신대학교 공과대학 전기전자공학과\*

김영근 · 이경섭\*

- Abstract -

## A Study on the Effective Utilization of Intensifying Screens in the Region of Diagnostic Radiology

Young Keun Kim · Kyung Sup Lee

Dept. of Radiotechnology Kawng-ju Health College.

Dept. of Electrical and Electroic Eng. Dong-shin Univ.

In order to obtain effective utilization of intensifying screens[CaWO<sub>4</sub>(W), Gd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S:Tb(Gd), BaFCl : Eu(Ba)] over the diagnostic radiology range, we calculated absorption coefficient ( $\mu$ ), absorption efficiency ( $\eta_a$ ) and absorbed energy ratio(R) and analyzed effects of these properties on X-ray image, finally concluded as below.

Regardless of presence of contrast media, absorption coefficient of Gd the highest and decreased with increase of thickness and kVp.

Absorption efficiency related with absorbance of fluorescent materials showed the highest value for the Gd, and discontinuous points exhibited at around 80~90 kVp and 90~100kVp for the Ba and the Gd, respectively.

Furthermore, the absorbed energy ratio(R) correspond to contrast of reflection showed the largest value for the W in the absence of contrast media, and for the Gd in the case of the existence of it, and the ratio was decreased with increasing of incident energy.

Owing to these properties, we assumed that it was more preferable to use rare earth type intensifying screen for the radiography using in the C.M.(I, Ba), while in the general radiography, CaWO<sub>4</sub> intensifying screen was applicable.

## I. 서 론

X선 필름에 쓰이는 할로겐화은은 X선 감광작용을 가지고 있는데 투과력이 강한 40~140kV의 의료용 X선 에너지영역에서 그 대부분이 흡수되지 않고 투과해 버리기 때문에 X선 이용율은 1%정도이다. 그래서 이 X선 이용율을 높이기 위해 X선을 조사시켜 형광체에서 나오는 빛을 사진 필름에 밀착기록하는 방법에 의해서 환자의 피폭을 저감시켜 단시간 촬영을 하는 것이 증감지이다.<sup>1)</sup>

W. C. Röntgen(1895)에 의해 X선이 발견된 직후에 개발된 CaWO<sub>4</sub> 증감지에 의한 직접촬영기술은 현재까지도 이어지고 있으며, X선 장치를 비롯한 관련 기기의 개발과 함께 사진화질을 향상시키는데 크게 기여하고 있다.<sup>2)</sup> 그 후 증감지의 종류는 다양화 되어 가고 있으며, 특히, 1970년대에는 환자에 대한 조사선량 경감과 사진의 화질을 향상시키기 위하여 증감지와 필름을 개량하는 연구

가 시작되었다.

1972년에 C. B. Stewart 등<sup>3~5)</sup>은 회토류 형광체를 증감지에 응용하여 직접촬영에 실용화하게 되었다. X선용 회토류 형광체 증감지는 CaWO<sub>4</sub> 증감지에 비하여 고가이지만 높은 발광효율이 있어 증감지의 특성을 비약적으로 높일 수 있었으며, 특히 환자의 X선 조사선량 경감과 양질의 의료 영상정보 전달에 크게 기여하였고,<sup>6~8)</sup> 단시간 촬영, 소초점 X선관의 이용과 회토류 증감지/ortho film system의 개량 등으로 사진 화질이 더욱 향상되고 있다. 현재 각급 의료 기관에서 사용되고 있는 증감지의 종류는 전 세계 유명회사에서 판매되고 있는 것만도 27종에 달하고 있다.<sup>9)</sup> 이렇게 다양한 증감지가 개발되어 이용되고 있으나 실제 임상 응용에서 화질을 향상시키고 조사선량 경감에 대응하기 위해서는 촬영목적에 따르는 증감지를 선정해야 하며, 이에 대한 보고는 많지만<sup>10~12)</sup> 증감지를 사용했을 때 X선 발생장치에서 발생된 X선 에너지가 효율적으로 이용되는가

를 결정하기 위한 연구가 많이 되어 있지 않기 때문에, 본 연구에서는 CaWO<sub>4</sub> 증감지(W), BaFCl : Eu 증감지(Ba)와 희토류 증감지인 Gd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S : Tb (Gd)를 사용해서 연속 X선 에너지 변화에 따른 형광체의 X선흡수계수( $\mu$ ), 흡수효율( $\eta_a$ ), 흡수에너지비(R)를 구하여 진단 방사선 영역에서 증감지의 유효이용에 대하여 연구하였다.

## II. 실험 기기 및 방법

증감지의 특성을 구하기 위해 CaWO<sub>4</sub> (OKAMOTO : DMS), Gd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S : Tb(TOSIBA : TO-220), BaFCl : Eu (TOSIBA : Q-120) 증감지를 사용하였고, 각 증감지 형광체 층의 두께는 215.12 $\mu$ m(전면 : 68.966 $\mu$ m, 후면 : 146.15 $\mu$ m), 220.69 $\mu$ m(전면 : 68.966 $\mu$ m, 후면 : 151.72 $\mu$ m), 334.48 $\mu$ m(전면 : 155.17 $\mu$ m, 후면 : 179.31 $\mu$ m)이다. 피사체의 두께를 변화시키기 위해서는 인체조직 등가물질인 두께 2~10cm의 acryl phantom을 사용하였으며, 조영제를 사용했을 때 증감지 물성을 알기 위해 바륨 제제로 T제약 120(w/v %)을 1cc/cm<sup>3</sup> 사용하였다. 관전압(kVp)은 50~120kVp를 조사하였다. 측정에 사용된 기기는 X선발생장치(DRF-150 - 500), X선 에너지의 재현성을 감시하기 위해 관전압·관전류계인 Dynalyzer III U high voltage unit (Radical Co. USA), 조사선량을 측정하기 위해서는 PMX-III(RTI, Serial No. 1058)가 사용되고, 증감지의 두께를 측정하기 위해 SEM(JEOL JDM 5400)을 사용하였다.

진단방사선 영역에서 증감지의 특성을 얻기 위한 X선 흡수계수( $\mu$ ), 흡수효율( $\eta_a$ ), 흡수에너지비(R)는 각각 식 (1), (2), (3)에 의해서 산출되었다.

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

흡수효율 ( $\eta_a$ )

$$= \frac{\text{증감지에 흡수된 X선 에너지}}{\text{증감지에 입사하는 X선 에너지}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

흡수에너지비(R)

$$= \frac{\text{얇은 피사체를 투과한 증감지의 X선 흡수에너지}}{\text{두꺼운 피사체를 투과한 증감지의 X선 흡수에너지}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

## III. 실험 결과

증감지의 X선 에너지 특성을 조사하기 위하여 X선 에너지의 강도, 피사체의 두께변화, 증감지의 형광체 종류와 조영제의 사용 유무에 따르는 X선흡수계수( $\mu$ ), 흡수효율( $\eta_a$ ), 흡수에너지비(R)를 측정할 실험 결과 조영제를 사용하지 않았을 때 증감지의 X선흡수계수( $\mu$ )는 그림 1, 2, 3에서 kVp가 증가함에 따라 X선흡수계수가 전체적으로 감소하나, Ba, Gd의 경우 K흡수단이 나타나는 에너지 영역에서 X선흡수계수가 증가함을 알 수 있다. Phantom의 두께가 증가할수록 X선흡수계수( $\mu$ )가 감소하고, Ba, Gd

의 K흡수단 X선흡수계수( $\mu$ )가 고에너지 쪽으로 이동하여, Ba는 phantom을 사용하지 않을 때 70kVp와 phantom 10cm일 때 90kVp에서, Gd는 phantom을 사용하지 않을 때 80kVp와 phantom 10cm일 때 100kVp에서 나타났으나 W는 나타나지 않았다.

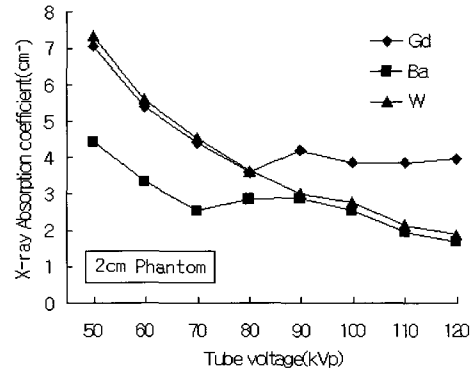


Fig. 1. Absorption coefficient of some phosphors with continuous X-ray (Non contrast media)

조영제를 사용했을 때의 그림 4, 5는 kVp와 phantom의 두께 변화에서 X선흡수계수( $\mu$ )는 Ba, W, Gd 순으로 크게 나타났고, 그림 1, 2, 3에 비해 Gd와 W의 X선흡수계수( $\mu$ ) 차가 크게 나타났다.

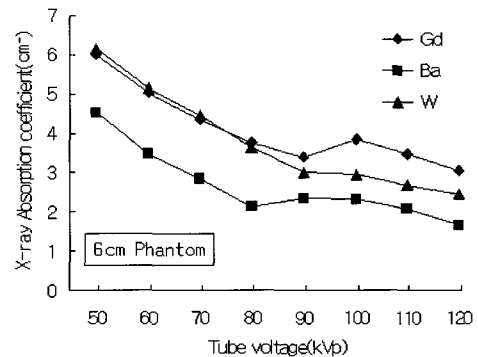


Fig. 2. Absorption coefficient of some phosphors with continuous X-ray (Non contrast media)

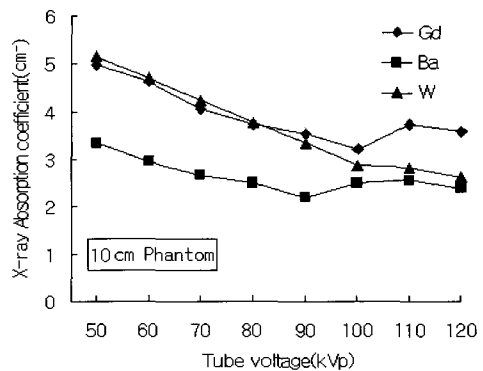


Fig. 3. Absorption coefficient of some phosphors with continuous X-ray (Non contrast media)

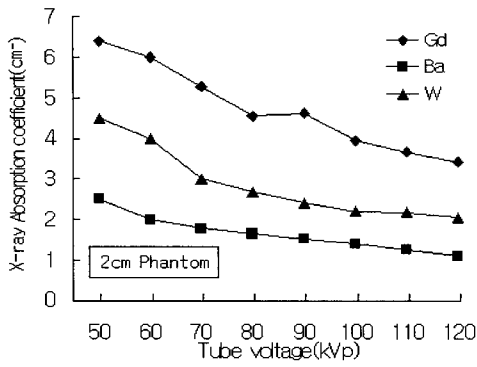


Fig. 4. Absorption coefficient of some phosphors with continuous X-ray (Using contrast media)

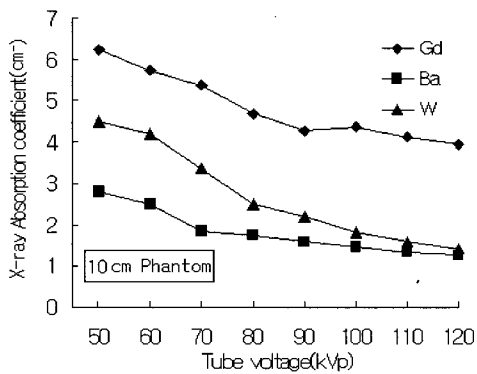


Fig. 5. Absorption coefficient of some phosphors with continuous X-ray (Using contrast media)

조영제를 사용하지 않을 때 그림 6, 7은 각각 2cm phantom과 10cm phantom에서 흡수효율( $\eta_a$ )을 나타내고 있다. 그림에서 흡수효율( $\eta_a$ )은 Gd에서 가장 크고, 70~80kVp 사이에서 W와 Ba의 역전현상이 일어났으며, kVp와 phantom 두께가 증가함에 따라 흡수효율( $\eta_a$ )은 저하되고 있다. 조영제를 사용했을 때 그림 8, 9에서도 Gd의 흡수효율( $\eta_a$ )이 가장 높고, W와 Ba의 역전현상이 나타났으며, Gd와 W의 흡수계수 차가 뚜렷하다.

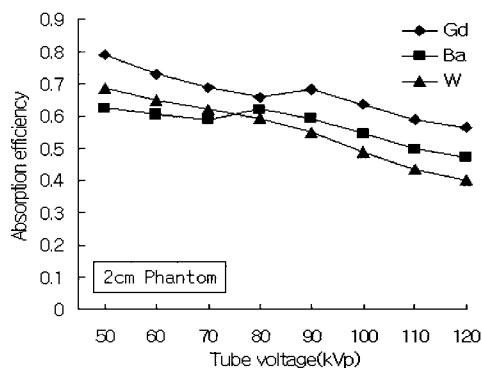


Fig. 6. Absorption efficiency of some phosphors with continuous X-ray (Non contrast media)

영상의 contrast를 대비하는 흡수에너지비(R)는 조영제를 사용하지 않을 때 그림 10에서 W가 가장 크게 나타났고, 조영제를 사용했을 때는 그림 11에서 W, Ba, Gd순으로 크게 나타났다.

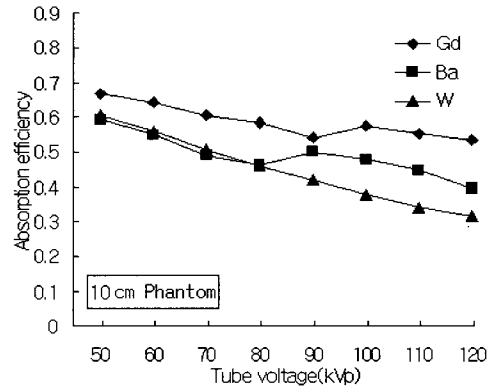


Fig. 7. Absorption efficiency of some phosphors with continuous X-ray (Non contrast media)

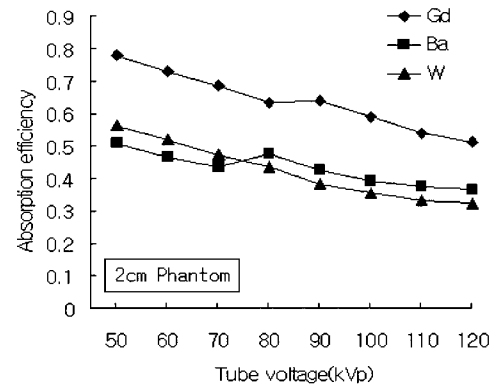


Fig. 8. Absorption efficiency of some phosphors with continuous X-ray (Using contrast media)

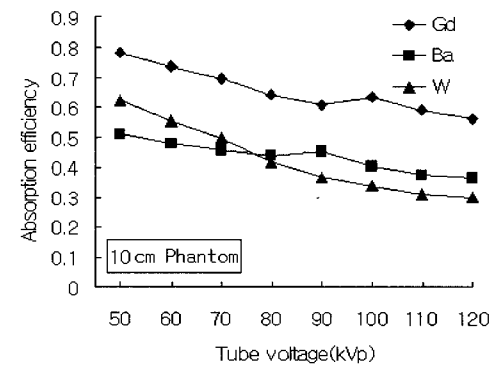


Fig. 9. Absorption efficiency of some phosphors with continuous X-ray (Using contrast media)

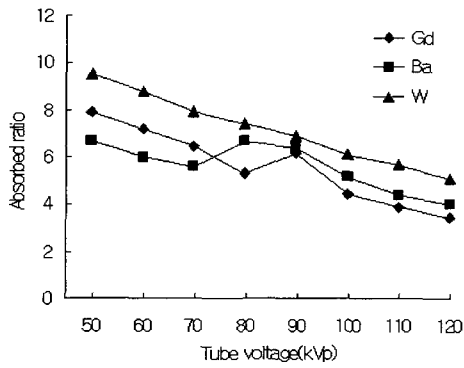


Fig. 10. Absorbed energy ratio of some phosphors with continuous X-ray (Non contrast media)

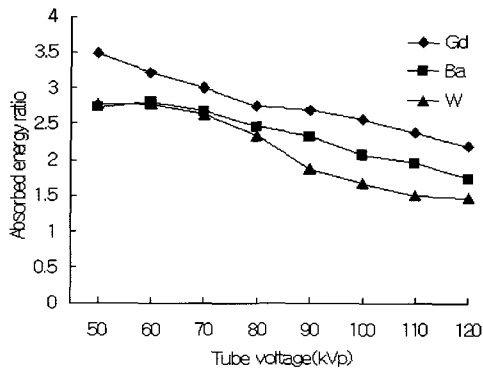


Fig. 11. Absorbed energy ratio of some phosphors with continuous X-ray (Using contrast media)

#### IV. 고 찰

Film/Screen system에 사용되는 증감지는 X선 필름에 대해서 증폭기의 역할을 하고, 피폭선량을 경감시키고, X선장치의 부하를 작게 하는 등 중요한 역할을 하고 있다.

증감지의 X선 spectra 의존성을 나타내는 그림 12에서 단색 X선 에너지 증가에 따른 W, Gd와 Ba 형광체의 X선 흡수계수( $\mu$ )를 나타내고 있으며, 그림 12의 불연속점은 K 흡수단이 Gd는 50.22keV, Ba는 37.38keV와 W는 69.48keV 영역에 존재하여 광전흡수가 발생되었기 때문이다.<sup>13,14)</sup> 또한, K흡수단 전후는 에너지가 증가함에 따라 투과 X선이 증가하여 X선흡수계수가 감소하고 있다.<sup>15)</sup>

그림 13(A)는 단색 X선에서 X선 광자의 spectra의 분포를 나타낸 것이다. 그림 13(B)은 연속 X선에서 X선 광자의 spectra를 나타낸 것인데, phantom의 두께가 증가할수록 X선 광자 spectra는 작아지고, 선질은 고에너지로 이동, 경화되어 고에너지 성분이 증가한다.<sup>16)</sup> 또한, 연속 X선으로서 평균에너지(mean kVp)는 그림 13(B)에서 최대 에너지의 1/2~1/3 정도이다.<sup>4,15)</sup>

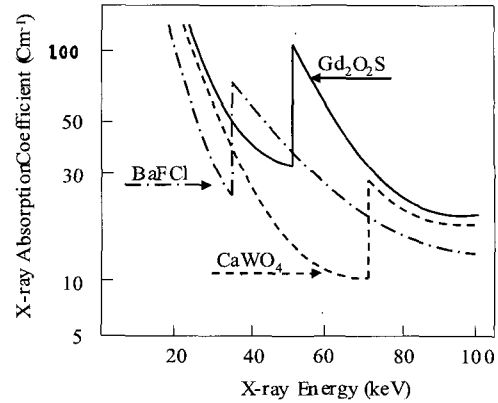


Fig. 12. X-ray absorption coefficients of phosphors.

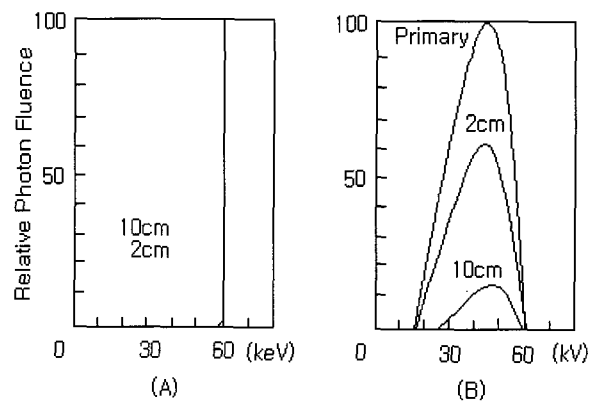


Fig. 13. Normalized X-ray spectra of transmitted water phantom  
(A) 60keV monochromatic X-ray  
(B) 60kV continuous X-ray.

X선 이용율의 주요인자인 증감지의 X선 흡수는 증감지를 구성하는 물질의 원자번호와 K흡수단이고, 피사체조직(지방, 골, 공기, 물)과 두께, 조영제의 종류(Ba, I 등)와 두께 그리고 촬영조건(관전압, 부가필터, Grid) 등에 의해 크게 변화된다.<sup>16)</sup>

진단방사선 영역에서 증감지의 유효이용을 연구하기 위하여 X선 에너지의 강도, 조영제의 사용유무, 피사체의 두께변화와 증감지의 형광체 종류에 따르는 X선흡수계수( $\mu$ ), 흡수효율( $\eta_a$ ), 흡수에너지비(R)를 측정 한 실험 결과에서 Ba는 K각의 흡수가 그림 12에서 37.38 keV인데 그림 1, 2, 3에서 70~80 kVp까지 보여주며, Gd의 경우는 K 흡수단이 그림 12에서 50.22 keV인 데 그림 1, 2, 3, 4, 5에서 80~100 kVp까지 X선흡수계수( $\mu$ )를 보여주고 있다. 이는 피사체 두께의 변화에 의해서 증감지에 도달하는 평균에너지 저하로 증가된 최대에너지가 필요하기 때문이다.

그러므로, 진단방사선영역에서 희토류 증감지(Gd) 이용 시 피사체의 두께에 따라 사용되는 최대 에너지(kVp)는 80~100kVp가 적절하다고 생각된다. K흡수단이 69.85keV 인 W의 경우는 사용된 최대에너지영역에 K각의 에너지가 포함되지 않아 불연속곡선이 나타나지 않았다.

조영제를 사용했을 때 그림 4, 5에서 50.22 keV에서 K

흡수단이 있는 Gd 증감지와 37.40 keV에서 흡수단이 있는 Ba 조영제의 X선 흡수가 관련되어 69.48 keV에서 흡수단이 있는 W에 비해 Gd의 X선흡수계수( $\mu$ )가 높게 나타났다.<sup>9,14)</sup>

그림 6, 8은 2 cm phantom과 7, 9는 10 cm phantom에서 흡수효율( $\eta_a$ )을 나타내고 있는데 그림 6에서 흡수효율( $\eta_a$ )은 Gd이 W보다 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 Gd 형광체의 X선 흡수가 W에 비해서 높고, 사용되는 진단방사선영역에서 K흡수단이 존재하기 때문이다. kVp 증가로 흡수효율( $\eta_a$ )이 저하되고 있고, 80kVp부근에서 W와 Ba이 역전 되어지는 형태로 나타나는데 이는 Ba의 K흡수단에서 광전흡수가 일어났기 때문이라고 생각된다.<sup>15)</sup> 형광체의 K흡수단 에너지영역에서는 흡수효율( $\eta_a$ )은 크게 변화하고, 불연속인 곡선이 된다. 이 부분을 상세히 보면, 언제나 K흡수단의 에너지 영역에서 흡수효율( $\eta_a$ )은 불연속곡선으로 나타나고, 동시에 phantom 두께 변화에 따른 흡수효율( $\eta_a$ )의 차로 나타나 있다. K흡수단 보다 낮은 X선 에너지는 phantom의 두꺼운 쪽이 흡수효율( $\eta_a$ )이 높고, K흡수단보다 높은 X선 에너지에서는 역으로 그림 6에서 phantom의 얇은 쪽이 높게 되어 있음을 알 수 있다. 이 현상은 전자에서는 phantom의 두께가 두꺼운 만큼 투과 X선 중에 저 에너지의 산란 X선 성분이 증가하고, 형광체의 K흡수단 이하의 X선흡수계수( $\mu$ ) 증가도 있게 되어서 X선 흡수선량이 증가하고, 후자에서는 phantom의 두께가 얇은 만큼 산란 X선 선량이 감소하고, 고에너지의 X선 성분이 많기 때문에 K흡수단 이상의 X선흡수계수( $\mu$ ) 증가에 의하여 X선 흡수선량이 증가하는 것으로 생각할 수 있다.<sup>9)</sup>

이와 같이 진단방사선 영역에서 Gd는 W에 비해 X선 흡수계수( $\mu$ )와 흡수효율( $\eta_a$ )이 크게 나타나 동일 감도에서 환자의 피폭선량 감소, 단시간 촬영과 소초점 X선관의 이용에서 양질의 의료 정보 전달에 기여하였다. X선상의 contrast에 대응하는 흡수에너지비(R)가 조영제를 사용하지 않았을 때 W는 Gd에 비해 높게 나타났고, 조영제를 사용했을 때 실험에서는 50.22keV에서 Gd의 K흡수단이 있는 Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Tb 증감지와 37.40keV에서 K흡수단이 있는 Ba 조영제의 X선 흡수가 관계하여<sup>9,14,17)</sup>, Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Tb 증감지의 흡수 차가 커지게 되어 CaWO<sub>4</sub> 증감지보다 상의 Contrast에 대응하는 흡수에너지비(R)가 높게 나타났었다. 따라서 일반 촬영에서는 CaWO<sub>4</sub> 증감지를 사용하는 것도 가능하다고 생각되어지며, 위·혈관 조영촬영에서는 희토류 증감지(Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Tb) 사용이 적합하다고 할 수 있다.

## V. 결 론

진단방사선 영역에서 증감지의 유효이용을 알아보기 위해서 X선흡수계수( $\mu$ ), 흡수효율( $\eta_a$ )과 흡수에너지비(R)를 구하고, 이에 따른 X선 영상에 미치는 영향을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. X선흡수계수( $\mu$ )는 증감

지 사용 유무와 관계없이 Gd에서 크게 나타났고, 두께와 kVp 증가에 따라 그 값이 감소하며, phantom의 두께에 따라 Ba은 70~90 kVp, Gd은 80~100kVp부근에서 불연속점이 나타나, 희토류 증감지를 이용한 촬영에서 사용되는 최대에너지(kVp)범위는 80~100kVp가 적절하다고 사료된다. 형광체의 흡수와 관련된 흡수효율( $\eta_a$ )은 Gd에서 가장 크고, 조영제 사용 시 그 차이가 더욱 뚜렷해졌다. 또한, 영상의 contrast에 대응하는 흡수에너지비(R)는 증감지가 없을 때 W에서 비교적 크며, 증감지가 있을 때는 Gd이 크게 나타났고, 입사에너지가 클수록 흡수에너지비(R)는 작게 나타났다. 이러한 증감지 특성 때문에 일반촬영에서는 CaWO<sub>4</sub> 증감지 사용이 가능하나, 위·혈관 조영촬영에서는 희토류증감지 이용이 더욱더 유용함을 알 수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. 허준, 최중학, 의료방사선사진학, 1, 신광출판사, pp. 85~112, 1998.
2. 内田 他 2人, 放射線畫像情報工學(1), pp. 319~320, 通常産業研究社, 1980.
3. C. B. Stewart, Radiologic Science for Technologists, Physics, Biology and Protection, The C.U. Mosby Company, pp. 250~255, 1984.
4. R. A. Buchanan, S. I. Finkelstein, K. A. Wicker-sheim, X-ray Exposure Reduction Using RareEarth Oxysulfide Intensifying Screens, Radiology, Vol. 105, pp. 185~190, 1972.
5. S. C. Thomas, E. D. James, E. C. Edward, Introduction to the Physics of Diagnostic Radiology, Lea & Febiger, pp. 113~121, 1984.
6. 許俊 外 4人, Fuji 稀土類增感紙와 正色性필름에 관한 檢査, -非正色性 Film系와의 比較, 大韓放射線技術學會誌, 9(1), pp. 83~87, 1986.
7. 許俊, 稀土類 增感紙와 Film에 對한 評價, 韓國放射線技術研究會, 4(1), pp. 3~7, 1981.
8. 許俊 外 1人, 稀土類增感에 관한 研究, 韓國放射線技術研究會誌, 1(1), pp. 15~24, 1978.
9. 日本放射線技師會編, 診療放射線 데이터ブック, 마그로스出版, 改訂增補版, pp.2~62, 1984.
10. R. P. Rossl, W. R. Hendes, C. R. Ahrens, An Evaluation of Rare Earth Screen/Film Combinations, Radiology, Vol. 121, pp. 465~471, 1976.
11. 許俊, 放射線像情報學, 新光出版社, pp. 145~154, 1991.
12. 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.