

KCl 단결정의 성장 및 고 에너지 X선 조사 특성

인제대학교 의과대학 부산백병원 방사선종양학교실

박 철 우

목 적: X선이 조사된 물질의 색변화를 통하여 방사선 측정 및 선량분포확인을 위한 물질로서의 가능성에 대하여 평가하고자 한다.

대상 및 방법: 순수한 KCl과 KCl에 희토류 물질인 Eu를 0.5 mol% 첨가하여 초크랄스키 방법으로 각각의 단결정을 성장시키고 선형가속기를 이용하여 X선조사선량에 따른 KCl결정의 색 변화를 관찰하였다.

결 과: 고 에너지 X선조사에 의해 KCl:Eu 단결정은 가시광의 푸른색 형광과 함께 자주색을 나타내었고 순수한 KCl 단결정은 눈으로 확인할 수 있을 정도의 형광은 관찰되지 않았지만 보라색으로 착색되었다.

결 론: KCl 단결정의 색 변화는 X선으로 인하여 안정된 색 중심이 생기고 이러한 색변화는 X선 측정물질과 펜툼으로 유용하게 사용되어질 것이다.

핵심용어: 희토류, 선형가속기, 펜툼

서 론

방사선 치료를 위한 고 에너지 X-선은 표면 선량이 낮고, 최대 선량 지점까지의 선량이 급격하게 증가하는 선량보강 (build up) 영역을 형성하며,¹⁾ 이러한 고 에너지방사선의 피부 보호효과는 방사선 치료에 의한 피부염을 급격히 감소 시켰다.²⁾

선량보강 영역은 방사선 치료에서 중요한 부분이며 고 에너지 방사선의 선량 측정을 위하여 반도체검출기, 신틸레이션검출기, 필름, 전리함, 열형광 선량계 등을 이용한다. 이러한 선량 측정 방법 중에서 필름 선량계는 megavoltage 방사선의 선량분포를 측정하는데 $\pm 3\%$ 의 정확도를 가진 적합한 평가 수단으로 인정받고 있고 선량보강 영역의 선량분포도를 평가할 수 있다. 하지만 필름을 이용한 선량 측정 방법은 필름을 현상하는 과정에서 발생하는 변수들 때문에 측정값의 차이가 발생하고 이러한 단점을 해결한 Radiochromic 필름을 이용한 선량 측정방법이 있다. Radiochromic 선량계는 높은 공간 분해능을 가지고 있으며, 상대적으로 분광학적 정도의 변화에 덜 민감한 특징을 가지고 있고 가시광선에 민감하지 않아 실내 빛에서 조작이 가능하다. 방사선이 조사되면

필름의 조사된 영역은 색이 변하게 되고, 일반 필름과 같이 어떠한 화학적 처리과정은 요구되지 않는다. 그리고 치료계획의 입체적인 선량분포 확인을 위해서는 여러 장의 펜툼 사이에 필름을 삽입하여 확인 하는 방법이 사용된다.

일반적인 필름을 이용한 방법은 여러 장의 얇은 펜툼이 필요하고 화학적 처리과정을 필요하며 측정의 불편함이 있다.

본 연구는 이러한 불편함을 없애기 위하여 초크랄스키 방법으로 KCl단결정을 성장시키고 탄단계열원소 Eu를 불순물로 첨가하여 성장시킨 단결정과 비교하여 고 에너지 방사선을 조사하여 선량에 따른 색의 변화를 관찰하고 단결정을 분말화 하여 펜툼을 제작할 때 선량 분포가 바로 확인 가능한 펜툼의 제작에 이용 될 수 있다.

대상 및 방법

1. 시료제작

본 실험에서 사용한 시료는 순수한 KCl과 0.5 mol% Eu를 혼합한 KCl:Eu이고 초크랄스키법(Czochralski method)으로 성장시켰으며, 결정성장 장치는 Fig. 1에 나타내었다.

초크랄스키 방법을 이용한 단결정 성장의 중요한 요소는 인상속도, 결정의 회전속도, 성장 도가니안의 온도분포, 성장 결정의 크기, 도가니 지름, 결정성장 중의 온도제어 등 여가가 요소가 더해져 서로 복잡하게 작용한다. 이 때문에 단결정 성장은 개개인의 기술에 의존하는 경우가 많고 결정을

이 논문은 2007년 10월 9일 접수하여 2007년 12월 3일 채택되었음.
책임저자 : 박철우, 인제대학교 부산백병원 방사선종양학과
Tel: 051)890-6692, Fax: 051)891-1754
E-mail: linacpcw@daum.net

수동으로 성장시킬 경우 여러 가지 현상을 수시로 관찰하여야 한다.

챔버 내부는 도가니 안에 시료를 넣기 전 빈 도가니를 분위기로 내부의 Thermo-couple 위에 위치시키고 온도조절기(KV1000, 한국, CINO 전자)를 이용하여 Auto tuning을 실시하였다. Auto tuning의 각 단계별 온도 설정은 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C, 550°C, 600°C, 650°C의 8단계를 설정하여 설정온도와 Thermo-couple의 측정온도 차이를 ±1°C 이내로 하였다.

결정 성장을 위한 원료분말은 Table 1에 의하여 고 순도의 KCl 분말(99.99%, aldrich)과 EuCl₃ 분말(99.9%, aldrich)을 사용하였다. 정확한 중량을 위하여 전자저울(OHAUS, USA)을 이용하였고 습도의 영향을 최대한 줄이기 위하여 시료가 공기 중에 노출되는 시간을 최대한 줄이고 시료의 중량은 빠른 시간 내에 이루어졌다.

단결정 성장을 위한 시료의 가열 온도와 시간은 300°C-1시간, 300°C-20분, 450°C-1시간 20분, 540°C-1시간 30분, 515°C-3시간이며 냉각은 25°C-24시간 동안 냉각 하였다. 이렇게 성장한 결정은 방사선 조사를 위하여 본원에 설치된 선형가속기를 이용하였으며 Varian사의 600 C 모델이다. 에너지는 6

MV, 조사야는 10×10 cm²으로 S.S.D.는 100 cm이고 선량은 100 cGy, 300 cGy, 600 cGy, 1,000 cGy, 1,500 cGy, 2,100 cGy, 5,500 cGy를 결정에 조사하였다.

결 과

KCl 단결정의 분자량은 74.55이고 결합구조는 이온 결합이다. KCl 단결정에 X선을 조사하지 않았을 때는 투명한 결정이었고(Fig. 2) 고 에너지 X선이 조사되면 KCl 단결정보다 KCl:Eu 단결정이 눈으로 보여 질 정도의 푸른색 형광과 함께 X선 선량에 비례하여 Fig. 2~9에서 고 에너지 X선의 선량이 증가하면 증가 할수록 KCl:Eu는 짙은 자주색을 나타내었다. 그러나 순수한 KCl은 눈으로 확인할 수 있을 정도의 형광은 관찰되지 않았지만 일반 진단용 필름을 이용한 형광의 유무 확인에서는 형광이 관찰되었고 보라색으로 착색되었다. 이러한 착색 현상의 원인은 할로겐 결정에 높은 이온화 X선을 쬐어면 KCl 단결정이 색깔을 띠게 되는데 X선으로 인하여 빠져나간 이온자리에 전자가 붙잡혀서 생겨난 색 중심에 의하여 새로운 흡수밴드가 나타난 결과라고 할 수 있다. 이러한 이론은 F₂⁺ 중심현상으로 NaF 결정에 F₂⁺ 중심을 생성시키기 위하여 복사선을 강하게 쬐인 결정에서 관찰되었다.⁴⁾ 그리고 1986년 NaCl과 KCl에 생긴 F₂⁺:O²⁻ 중심레이저가 만들어 졌는데 Wandt 등은 할로겐 이온의 격자점에 O²⁻ 이온이 들어간 것으로 보고 (F₂⁺)_N라고 하였다.³⁻⁵⁾ 이런 결과로부터 (F₂⁺)_N 중심은 공극에 고정되어 있는 O²⁻ 이온이 F₂⁺ 중심을 끌어당기고 있는 것에 해당한다고 볼 수 있다. KCl:Eu 단결

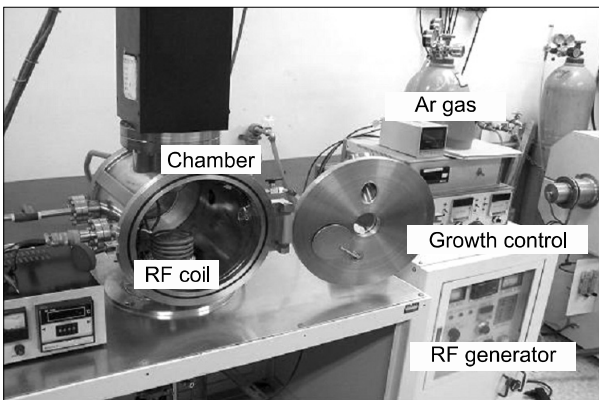


Fig. 1. KCl crystal growth equipment.

Table. 1. KCl crystal growth of materials and activator

Chemical formula	KCl (g)	EuCl ₃ (g)
Formula weight	74.55	258.32
Weight%	99.5	0.5
Total weight (g)	74.177	1.292

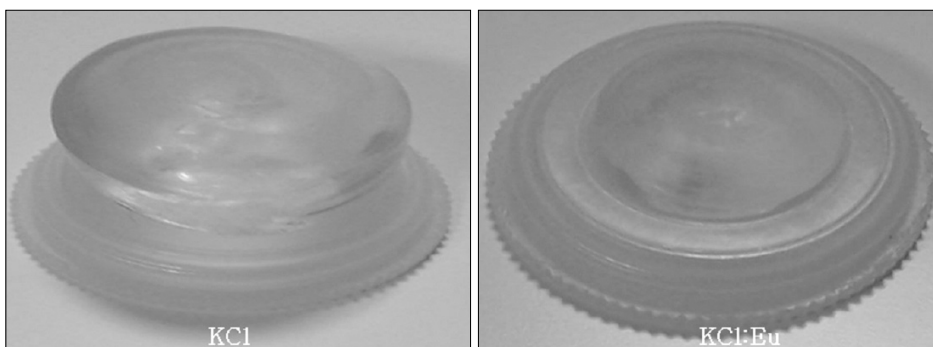


Fig. 2. The photographs KCl and KCl:Eu crystal according to non irradiation of properties.

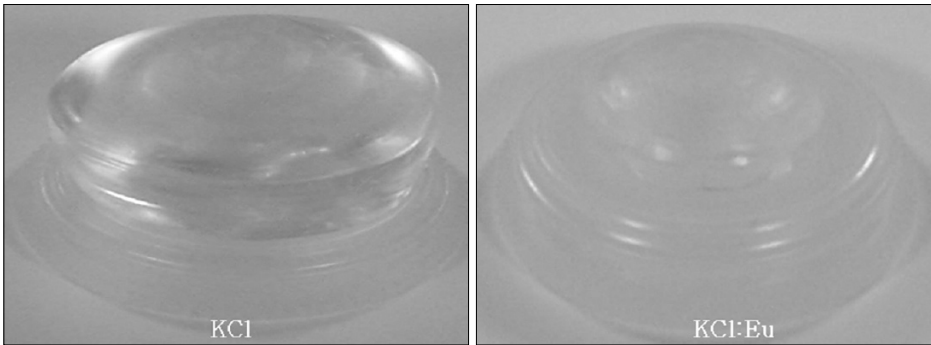


Fig. 3. The photographs KCl and KCl:Eu crystal according to 100 cGy irradiation of properties.

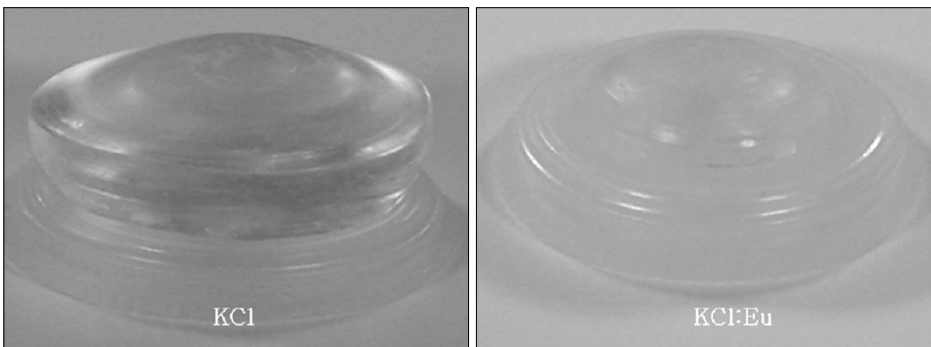


Fig. 4. The photographs KCl and KCl:Eu crystal according to 300 cGy irradiation of properties.

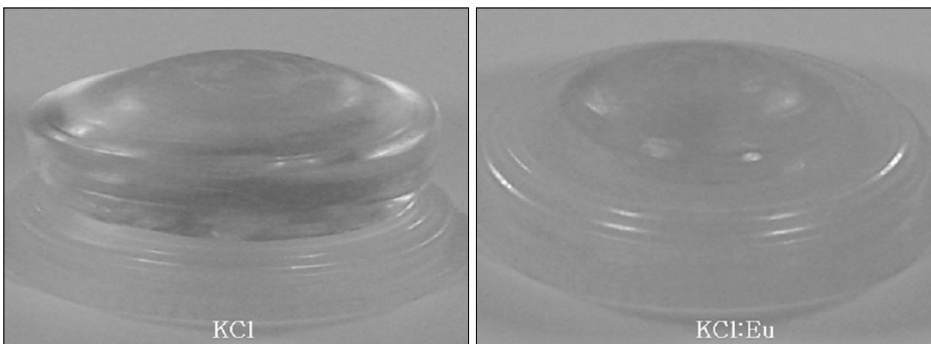


Fig. 5. The photographs KCl and KCl:Eu crystal according to 600 cGy irradiation of properties.

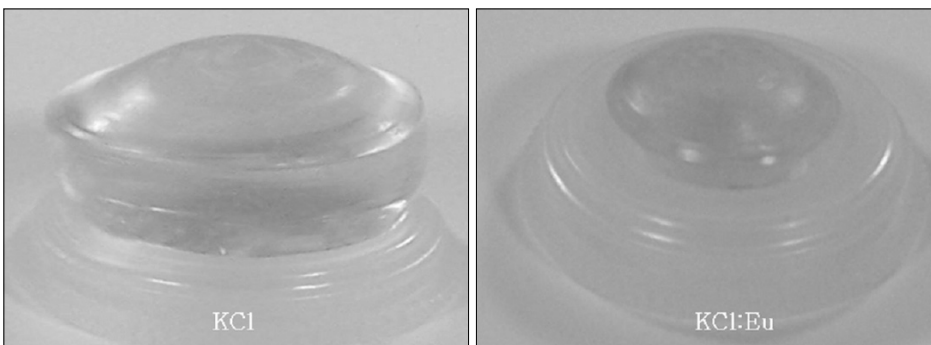


Fig. 6. The photographs KCl and KCl:Eu crystal according to 1,000 cGy irradiation of properties.

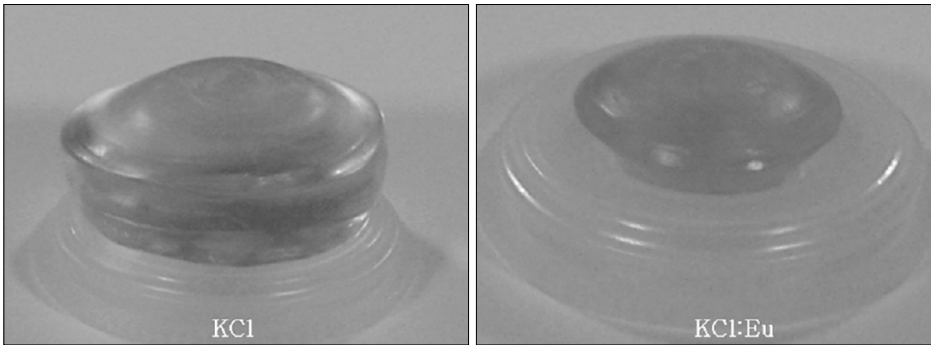


Fig. 7. The photographs KCl and KCl:Eu crystal according to 1,500 cGy irradiation of properties.

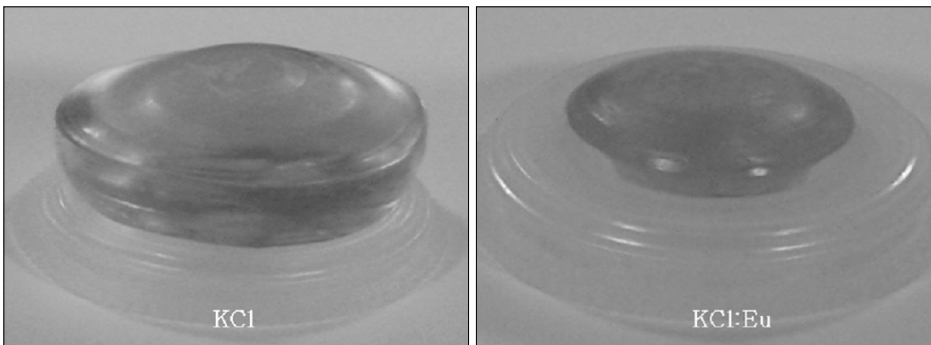


Fig. 8. The photographs KCl and KCl:Eu crystal according to 2,100 cGy irradiation of properties.

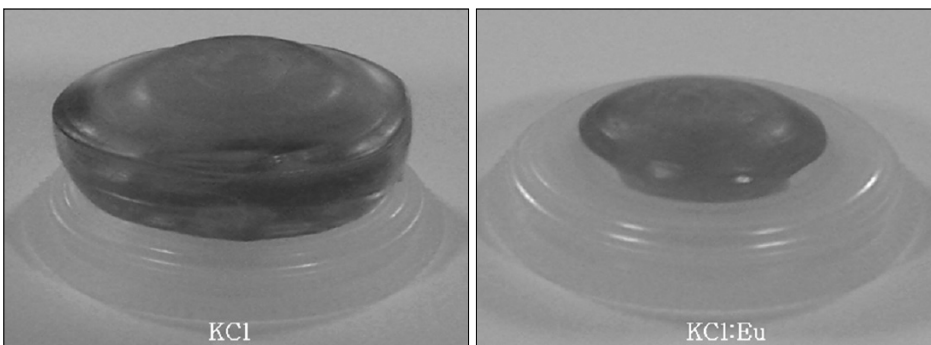


Fig. 9. The photographs KCl and KCl:Eu crystal according to 5,500 cGy irradiation of properties.

정은 녹색을 방출하는데 최대 피크는 파장이 540 nm에서 나타난다. 이는 외부에서 고에너지 X선에 의해서 여기된 전자와 Eu^{+} 이온으로부터 일어나는 ${}^5\text{D}_4$ - ${}^7\text{F}_3$ 의 높은 준위에서 낮은 에너지 기저상태로 천이되면서 형광이 발생한다고 볼 수 있다.^{6,7)} 이런 현상은 산소를 포함하고 있는 KBr, RbCl 단결정 등에서도 $(\text{F}_2^+)_N$ 중심에 의해 착색 되는 것으로 사료된다 (Fig. 2~9).

이러한 결함으로 인하여 착색된 결정은 상온에서 2시간정도 후에는 안정된 투명한 원래의 결정으로 되돌아간다. 이러한 특성은 별도의 후 처리과정 없이 재사용이 가능하다는 것을 의미한다. 그러나 KCl 결정은 물에 잘 녹기 때문에 사용시 습기에 주의하고 파라핀 또는 젤 형태의 물질에 혼합함

으로써 방사선 선량분포 측정 물질로 사용하는데 영구적이다.

본 연구를 통하여 병소의 정확한 선량분포를 별도의 화학 처리과정 없이 알아볼 수 장점으로 인하여 국내 방사선 측정 분야를 비롯한 의학과 자연과학 분야에서 다양한 파급효과를 기대할 수 있을 것으로 본다.

고안 및 결론

KCl단결정 시료제작은 순수한 KCl 분말(4N)과 EuCl_3 분말(3N)을 사용하였다. 0.5 mol% Eu를 혼합한 KCl:Eu이고 초크랄스키법(Czochralski method)으로 성장시켰다. 단결정 성장을 위한 시료의 가열 온도와 시간은 300°C -1시간, 300°C -20

분, 450°C-1시간 20분, 540°C-1시간30분, 515°C-3시간이며 냉각은 25°C-24시간동안 냉각 하였다.

KCl 단결정에 X선을 조사하지 않았을 때는 투명한 결정이었고 고 에너지 X선이 조사되면 KCl 단결정보다 KCl:Eu 단결정이 눈으로 보여 질 정도의 푸른색 형광이었다.

고 에너지 X선의 선량이 증가하면 증가 할수록 KCl:Eu는 짙은 자주색을 나타내었다.

착색 현상의 원인은 할로겐 결정에 높은 이온화 방사선을 쬐이면 KCl 단결정이 푸른색깔을 띠게 되는데 X선으로 인하여 빠져나간 이온자리에 F_2^+ 전자가 붙잡혀서 생겨난 안정된 색 중심에 의하여 새로운 흡수밴드가 나타난 결과라고 할 수 있다.

KCl:Eu 단결정에 X선을 조사 하였을 때 색 변화 현상은 펄스 제작 시 조직등가물질에 KCl:Eu 단결정분말을 혼합하

여 X선의 선량분포를 알아보는데 유용하게 응용되어 질 것이다.

참고문헌

1. Khan FM: The physics of radiation therapy. 2nd ed. Maryland: Williams & Wilkins, 1994;323-332
2. Gagnon WF: Surface dose from megavoltage therapy machines. Radiology 1978;117:705-708
3. Wandt D, Gellermann W, Luty F, Welling H: J Appl Phys 1987;61:864
4. German R, Pollock CR: Optics Lett 1987;12:474
5. Georgiou E, Pinto JF, Pollock CR: Phys Rev B 1987;35:7636
6. Anderson WW: Physical Review 1964;136:556
7. Okamoto K, Hamakawa Y: Appl phys Lett 1979;35:508

Abstract

KCl Crystal Growth and High Energy X Ray Expose of Properties

Cheol Woo Park

Department of Radiation Oncology, Busan Paik Hospital, Inje University School of Medicine, Busan, Korea

Purpose: X ray irradiates material for dose distribution confirmation through material color variation to evaluate about possibility.

Materials and Methods: That is rare earth material to pure KCl and KCl impurity Eu adding 0.5mol% by Czochralski method each single crystal grow and observed color variation of KCl X ray irradiation use of linear accelerator.

Results: High energy X ray irradiation KCl:Eu show the blue fluorescence with purple color that pure KCl single crystal can confirm by show was not observed, but was colored violet.

Conclusion: Colors variation of KCl founds stable color center from radiation and this color variation will be used usefully to X ray measurement material and phantom.

Key words: rare earth, linear accelerator, phantom