

The Evaluation and Fabrication of Radiation Phosphor Screen for Non-destructive Testing using the Special Room Temperature Gel-printing Method

Jun Haeng Lee

Department of Radiology of Nambu University

Received: June 30, 2020. Revised: August 25, 2020. Accepted: August 31, 2020

ABSTRACT

In this study, we developed a phosphor film screen that can be applied to radiographs during non-destructive testing using Gd₂O₂S:Tb phosphor compounds. The image uniformity of the fabricated phosphor screen film was analyzed by FE-SEM, RMS and RDS analysis. In addition, the tensile strength, elongation, and modulus of elasticity of the Gd₂O₂S:Tb phosphor screen were evaluated by measuring the stress-strain characteristic curve. As a result, it was evaluated that the RSD value had an excellent image uniformity within 10% of the evaluation criteria. In addition, as a result of evaluation of physical properties, the tensile strength was 1.1760 N/mm², the tensile strength at break was 1.1515 N/mm². These results suggest that the Gd₂O₂S:Tb phosphor screen fabricated using the room temperature gel-printing method could be applied to digital radiography detectors for radiography.

Keywords: Gd₂O₂S:Tb, NDT, SEM, RMS, RSD

I . INTRODUCTION

비파괴검사(Non-destructive inspection, NDT)란 제품을 파괴하지 않고 내부의 결함 등을 검사하는 방법이다. 보통 X-선, γ-선 등을 이용한 방사선 투과검사가 많이 이용되며, 방사선이 투과하면서 다른 물질에서는 X-선 강도의 감약 정도가 각각 다른 것을 이용하여 결함 부분과 일반 부분을 다르게 필름에 감광하여 나타낸다. 이러한 방사선 투과검사에서는 고에너지의 방사선을 다루기 때문에 작업자들의 안전에 주의를 기울이며 안전을 확보하기 위해 많은 재원을 시스템 개발에 투자하고 있다.^[1-5]

하지만 이러한 노력에도 불구하고 방사선 투과검사에서는 매년 사건 사고가 발생하고 있다. 산업체에서 이용되는 방사선 투과검사의 대부분은 발주업체 사업장에서 진행이 되는 것이 대부분이며, 장소가 일정치 않기 때문에 검사대상물의 크기 이

외에도 작업 장소 크기에 의한 요인이 다양하기 때문에 차폐시설의 설치가 편하지 않아 방사선 피폭의 일정 부분을 감수할 수밖에 없다.^[1-5]

이에 본 연구에서는 형광체를 이용하여 방사선 영상의 품질 향상과 조사시간 단축으로 인한 작업자의 피폭을 단축시키고자 높은 원자번호로 인한 고에너지에 대한 높은 흡수 및 발광효율을 가져 현재 의료 방사선 진단영역에서 이용되는 Gd₂O₂S:Tb을 상온 겔-프린팅법(gel-printing method) 공정기법을 적용하여 플렉시블한 증감지 스크린을 제작한 후, 영상을 획득하여 영상 균일도 분석을 통한 품질 평가를 진행하였다. 또한 Gd₂O₂S:Tb은 외부 외력에 약한 기계적 안정성을 가지고 있기 때문에 측정 장소가 일정치 않은 방사선 투과검사에서는 활용하기 어려운 문제가 있다. 이에 실리콘 계열 바인더를 사용하여 안정성을 확보하고자 하였으며 특성 평가를 통한 성능 평가 연구를 수행하여 방사

선 투과검사에 알맞은 형광체 스크린 공정을 제시하고자 하였다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 플렉시블 Gd₂O₂S:Tb 증감지 필름 제작

본 연구에서는 MCNPX(Monte carlo N-Particle Extended)를 사용하여 Gd₂O₂S:Tb 증감지 필름시트 두께에 따른 방사선의 흡수효율을 가늠하고 최적의 제작 두께를 선정하였다. 선정된 두께의 플렉시블한 Gd₂O₂S:Tb 증감지 스크린 필름을 제작하기 위해 Gd₂O₂S:Tb 파우더(2.5 μm, Phosphor Tech社, USA)와 실리콘 계열의 바인더를 사용하여 제작하였다.

Fig. 1.은 Gd₂O₂S:Tb 증감지 필름시트 제작 공정 개략도를 나타낸 것이다. 먼저, Gd₂O₂S:Tb 파우더를 액상 실리콘 바인더와 혼합하여 균일하게 믹싱하여 겔-페이스트 형태로 제조한 후, 일정한 두께의 유리 Masking 기판 상단에 프린팅 방법으로 면적 5 × 5 cm 크기로 균일하게 도포한 후, 40℃에서 12시간 건조시켜 시편을 제작하였다.

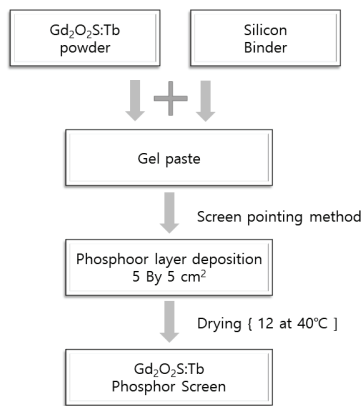
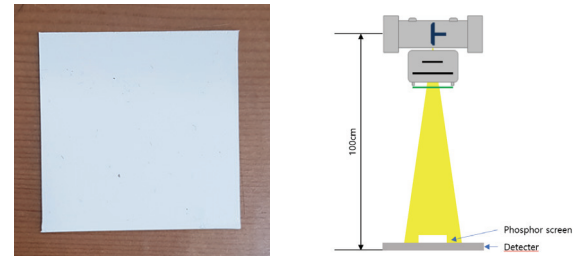


Fig. 1. The fabrication process of Gd₂O₂S:Tb phosphor screen derived by sol-gel printing method.

Fig 2-(a)는 상온 졸-겔 프린팅법으로 제작된 Gd₂O₂S:Tb 증감지 필름시트의 사진을 보여주고 있다. 제작된 필름은 고분자 바인더에 의해 연성특성이 우수한 플렉시블하게 제작되었다. 제작된 형광체 필름내 Gd₂O₂S:Tb 입자의 공간적 분포 및 단면의 밀도분포 및 두께 균일도를 분석하기 위해

FE-SEM 표면 및 단면 영상을 획득하여 형상을 관찰하였다.



(a) Gd₂O₂S:Tb phosphor film (b) the experimental setup

Fig. 2. The picture (a) of the fabricated Gd₂O₂S:Tb phosphor film and an experimental setup (b) for x-ray imaging acquisition.

2. 제작된 증감지 필름의 RMS 및 RSD 분석

제작된 Gd₂O₂S:Tb 증감지 필름을 광영상 센서(CMOS, CCD, a-Si TFT 등)에 적용하여 고에너지 방사선 영상 검출기로 이용하기 위해서는 증감지 필름의 두께가 수백 마이크로 이상이 요구될 뿐만 아니라 Gd₂O₂S:Tb 입자들의 입자분포의 균일성과 두께 균일도가 영상의 질(Quality)을 좌우하는 주요 인자이다. 따라서 이러한 증감지 필름의 영상 품질 성능을 간접적으로 평가하기 위해 본 연구에서는 제작된 증감지 필름에 대해 RMS 및 RSD 분석을 하였다.

먼저 Root Mean Square((RMS) 평가를 위하여 X선 발생장치 (DKII-525R/F, 동강의료기)와 평판형 검출기(FLAATZ 560, DRTech Co.)를 이용하여 증감지 필름의 X선 투과 영상을 획득하였다. Fig. 2-(b)는 RMS 평가를 위한 X선 영상획득 실험 모식도를 나타낸 것이며, 조사조건은 70 kVp, 10 mAs로 Raw 영상 데이터를 획득하였다.

획득된 영상으로부터 관심영역을 필름 가운데를 기준으로 Image J(NIH; National Institutes of health)을 이용하여 512 × 512 영역으로 설정하고, 아래의 수식을 이용하여 RMS 값을 도출하였다.

$$S = [\sum(X_i - X_{ave})^2/n]^{0.5} \quad (1)$$

위의 식에서 X_i 는 픽셀값, X_{ave} 는 평균 픽셀값, n 은 픽셀수이다. 도출된 RMS 값을 이용하여 RSD(Relative Standard Deviation)를 산출하였다.

3. 제작된 증감지 필름의 응력-변형률 특성

Gd₂O₃:Tb의 본 연구에서는 응력, 변형률 곡선을 평가하기 위하여 ‘KS M ISO37;가황 또는 열가소성 고무-인장응력 특성 측정방법’에서 제시된 아령형 2호 형태로 Gd₂O₃:Tb 형광체 스크린 시편을 준비하였다.

이후 시험편을 일정한 이동 속도로 가동되는 인장기의 집게로 잡아 늘려갔으며, 시험편이 일정 거리 늘어났을 때의 얻어진 힘과 신장을 측정하였으며, 절단될 때의 힘과 신장을 획득하였다.

III. RESULT

1. Gd₂O₃:Tb 광자 에너지 흡수율 평가를 통한 최적의 두께 선정

Fig. 3은 100 kVp에서 Gd₂O₃:Tb 형광체 스크린의 광자 흡수효율을 나타낸 것이다. 두께에 따른 광자 에너지의 흡수율은 200 μm의 두께에서 79.54%, 300 μm 두께에서 88.30%, 500 μm에서 95.57%의 흡수 효율을 보였다.

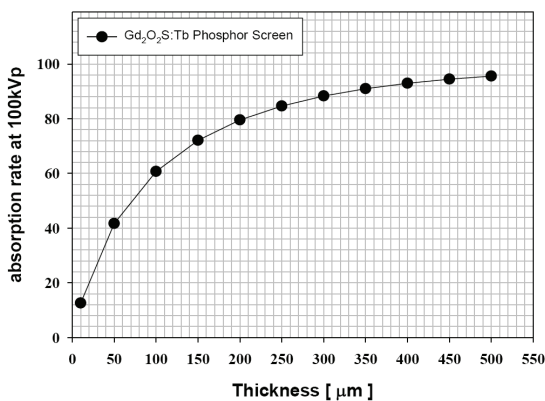


Fig. 3. The absorption rate of the fabricated Gd₂O₃:Tb screen at 100 kVp.

2. 제작된 Gd₂O₃:Tb 증감지의 FE-SEM, RMS 및 RSD 평가

본 연구에서 제작된 Gd₂O₃:Tb 증감지 스크린의

FE-SEM 표면 및 단면형상을 Fig. 4에 보여주고 있다. 표면에 대한 형상관찰 결과, Gd₂O₃:Tb 분말입자가 균일하게 분포되어 있는 것을 확인할 수 있었으며, 단면형상에서 일부 입자들이 응집되어 있는 것을 알 수 있었다.

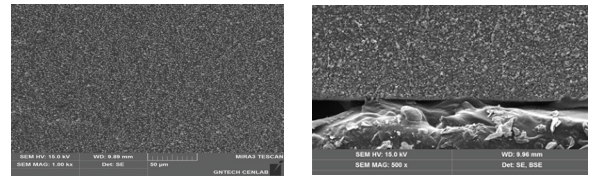


Fig. 4. The top(left) and cross-section(right) image of FE-SEM obtained by the fabricated Gd₂O₃:Tb phosphor screen.

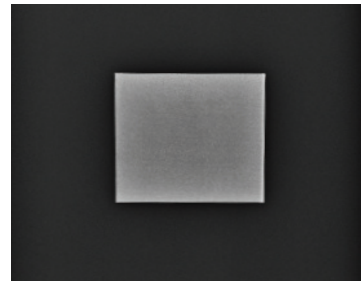


Fig. 5. The obtained x-ray image of the fabricated Gd₂O₃:Tb phosphor screen.

Fig. 5는 제작된 Gd₂O₃:Tb 증감지로부터 획득된 X선 투과영상을 보여주고 있다. 획득된 영상으로부터 RMS 분석결과, 평균값은 123.20로 나타났으며, RMS값은 11.65 산출되었으며, RSD값은 9.45%로 나타났다.

3. 제작된 Gd₂O₃:Tb 증감지의 응력-변형률 특성

Fig. 6은 제작된 증감지 필름에 대한 응력-변형률 특성곡선을 나타낸 것이다. 평가결과, Table 1은 파단시 인장강도는 1.1515 N/mm², 파단시 신장률은 135%로 나타났다.

Table 1. The mechanical properties of the fabricated Gd₂O₃:Tb phosphor screen

인장 강도 (N/mm ²)	1.1760
파단시 인장강도 (N/mm ²)	1.1515
파단시 신장률 %	135
탄성계수 (N/mm ²)	0.4128

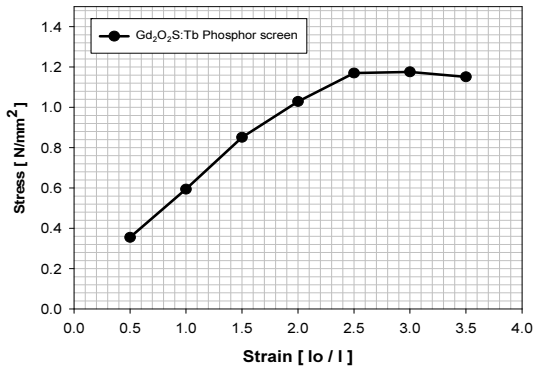


Fig. 6. The stress-strain curve of the fabricated Gd₂O₂S:Tb phosphor screen

IV. DISCUSSION

본 연구는 Gd₂O₂S:Tb 형광체 화합물을 사용하여 비파괴검사 중 방사선 투과검사에 적용할 수 있는 형광체 증감지를 개발하였다

본 연구에서는 Gd₂O₂S:Tb 형광체 스크린의 최적 두께는 경제성과 가공성을 고려하여 단위두께당 흡수효율이 포화되는 250 μm~ 300 μm가 가장 적절한 것으로 사료된다.

본 연구에서는 제작된 Gd₂O₂S:Tb 증감지의 응력-변형률 특성을 살펴보면 항복점은 변형률 3.0에서 1.1760 N/mm²로 평가되었다. 이는 Gd₂O₂S:Tb 형광체 스크린 방사선 투과검사에 사용되기에 충분한 기계적 강도를 나타내는 것으로 사료된다.

본 연구에서는 Gd₂O₂S:Tb에 대한 타 논문에서 평가 기준으로 제시한 Root Mean Square(RSD) 10%를 참고하였다.^[9]

본 논문의 RSD값은 평가 기준인 10% 이내로 들어가는 값으로서 충분한 영상균일도로 평가되어 방사선 투과검사에서 충분한 영상품질을 얻을 수 있을 것으로 판단 되어진다.

본 연구에서는 Gd₂O₂S:Tb 형광체 화합물을 이용하여 방사선 투과검사에서 적용 가능한 형광체 증감지 필름을 졸-겔 프린팅 공정방법으로 개발하여 형광체 스크린을 제작하였다.

V. CONCLUSION

결론적으로 제작된 증감지의 형상 및 입자 균일도 평가결과, 산업용 비파괴 검사에 적용이 가능한 균일도 및 영상 질(quality)를 얻을 수 있을 것으로 평가되었다. 또한 높은 인장강도를 가졌으며, 낮은 응력에서도 우수한 변형률을 가지는 연성 특성을 이용하여 다양한 피사체의 영상획득에 적용하기에 적합할 것으로 판단된다.

향후 연구에서는 디지털 영상센서(a-Si TFT, CCD, CMOS)에 결합하기 위한 대면적 필름 제조 공정연구 및 분산제 첨가를 통한 입자 균일도를 개선시키는 연구를 진행하고, 영상센서와 결합하여 영상획득 및 해상력 평가가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

Acknowledgement

이 논문은 2019년도 남부대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

Reference

- [1] T. Istvan and V. Katalin, "Radiation Accidents: Occurrence, Types, Consequences, Medical Management, and the Lessons to be Learned", Central European Journal of Occupational and Environmental Medicine, Vol. 7, No. 1, pp. 3-14, 2001.
- [2] K. J. Lee, J. I. Yun, B. G. Park, S. Kim, B. S. Lee, "Evaluation of luminance performance of scintillating film for monitoring the position of a radioactive source in an NDT apparatus", Journal of Radiological Science and Technology, Vol. 28, No. 1, pp. 13-17, 2005.
- [3] K. T. Kim, J. H. Kim, M. J. Han, Y. J. Heo, K. J. Ahn, S. K. Park "The Study on Design of Semiconductor Detector for Checking the Position of a Radioactive Source in an NDT", Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 11, No. 3, June 2017. <https://doi.org/10.7742/jksr.2017.11.3.171>
- [4] KINS/HR-977 Final Research Report, "Evaluation of Exposure Radiation by Work of Non-destructive

Testing Workers", Korean Industrial Testing CO. Ltd 2009.

- [5] Occupational health 309, "Development of Non-destructive Testing Radiation Exposure Reduction Plan", pp 68-70. Korea Industrial Health Association 2014.
- [6] Occupational health 312, "Cancer prevention management of radiation nondestructive examination worker", Vol. 1, pp 45. Korea Industrial Health Association 2014.
- [7] Occupational health 313, "Cancer prevention management of radiation nondestructive examination worker", Vol. 2, pp 38. Korea Industrial Health Association 2014.
- [8] Occupational health 350. "Repeated Radiation Overexposure in Non-Destructive Examiners and Disease outbreak at worker", Korea Industrial Health Association 2017.
- [9] J. K. Park, S. W. Yang, J. H. Jeon, J. H. Kim, Y. J. Heo, S. S. Kang, K. T. Kim "Fabrication of Bendable Gd₂O₂S Intensifying Screen and Evaluation of Fatigue Properties", Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 11, No. 7, pp. 611-617, 2017. <http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2017.11.7.611>

상온 겔프린팅 기법을 이용한 비파괴 검사용 방사선 증감지 제작 및 평가

이준행

남부대학교 방사선학과

요 약

본 연구는 $Gd_2O_2S:Tb$ 형광체 화합물을 사용하여 비파괴검사 중 방사선투과검사에 적용할 수 있는 형광체 증감지를 개발하였다. 또한 이러한 형광체 증감지를 FE-SEM, RMS 및 RDS 분석을 통해 형광체 증감지의 영상 균일도를 분석하였다. 또한, 응력-변형 특성 곡선 측정을 통해 $Gd_2O_2S:Tb$ 형광체 스크린의 인장강도, 신장률 및 탄성계수를 평가하였다. 실험 결과, RSD 값이 평가 기준인 10% 이내로 우수한 영상균일도를 가지는 것으로 평가되었다. 또한, 물리적 특성 평가 결과, 인장 강도는 $1.1760 N/mm^2$ 이며, 과단시 인장강도는 $1.1515 N/mm^2$ 로 나타났다. 이러한 결과로부터 본 연구에서 제작된 상온 겔-프린팅 제조법을 이용하여 제작된 $Gd_2O_2S:Tb$ 형광체 스크린은 방사선 투과검사용 디지털 방사선 검출기에 적용이 가능할 것으로 사료된다.

중심단어: $Gd_2O_2S:Tb$, NDT, SEM, RMS, RSD

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(단독저자)	이준행	남부대학교 방사선학과	부교수