

섬광체와 광섬유를 조합한 방사선량계 개발

김범환, 김계홍, 박재우

제주대학교 에너지공학과

Development of A Radiation Dosimeter Combining Scintillator and Optical Fiber

Beom-Hwan Kim, Gye-Hong
Kim and Jae-Woo Park

Department of Nuclear & Energy Engineering,
Cheju National University, Jeju, Korea

Abstract

Thin and small radiation sensors may be useful as radiation dosimeter to measure the local radiation doses directed to the object point in radiation treatment or a very narrow spots where the conventional dosimeters can not put into. We have constructed a radiation sensor system with a small piece of inorganic scintillator CsI(Tl) attached to one end of an light-transmitting optical fiber. This sensor system is tested against ^{137}Cs gamma ray sources to check its feasibility as a radiation dosimeter. We measured the pulse height spectra from the sensor using an MCA, and the proportionality between the total number of counts and the radioactivity of the radiation sources. Also measured is the change of the total number of counts with increasing the distance between the source and the sensor. By

comparing the measured data with those obtained with a conventional GM-type dosimeter, we have found a good agreement. This suggest that a small piece of scintillator combined with an optical fiber can be used as a radiation dosimeter.

서 론

광섬유는 가늘고 유연한 특성으로 인하여 협소한 공간에 삽입하기가 용이하기 때문에 방사선 센서로 개발될 경우 매우 유용하게 활용될 수 있다. 이에 따라 섬광광섬유(scintillating optical fiber)를 이용한 방사선 센서 개발이 부단하게 지속되고 있다^{1,2)}. 이러한 센서는 핵물질의 감시, 핵연료봉 집합체의 검사, 의료용 방사선 계측기로 활용될 수 있다. 방사선계측방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째는 광섬유에 섬광을 일으키는 성분을 첨가한 섬광 광섬유를 활용하는 방법이고, 둘째는 일반적인 광전송용 광섬유 끝에 방사선에 반응하는 감도가 높은 섬광체를 접합하여 센서로 사용하는 방법이다^{3,4)}. 전자는 광섬유 자체가 방사선 센서 역할을 하면서 동시에 광을 전송하는 역할을 하는 경우로서 외가닥으로 감마선에 대한 감도가 매우 낮은 것이 단점이다. 후자는 감마선과 반응 효율이 높은 섬광체를 광섬유에 접합하는 경우 전자에 비하여 훨씬 높은 감도를 얻을 수 있다. 근래 원자번호가 크고 밀도가 높으면서 흡수성이 없는 다양한 섬광체가 개발되고 있고 이들을 광섬유와 조합한다면 좋은 방사선 계측수단이 될 수 있다. 이렇게 제작된 센서는 소형이기 때문에 기존에 측정하기 어려웠던 협소한 곳의 방사선량 측정이 가능하고, 센서부분에 전원공급원이 필요가 없기 때문에 수중이나 토양에서도 측정이 가능하다³⁾.

본 연구는 광섬유 끝에 무기섬광체(Inorganic scintillator)인 CsI(Tl)를 소형으로 제작, 결합하여 ^{137}Cs (1.096 μCi , 3.010 μCi , 5.296 μCi , 9.199 μCi)의 감마선원에 적용하여 방사선량 계측 가능성에 대하여 조사하였다. 섬광체에서 발생된 광의 반사효

율을 향상시키기 위하여 섬광체를 알루미늄 foil로 감싸 효율향상을 추구하고, 광전송 손실이 낮은 플라스틱형 광섬유를 섬광체와 접합하였다. 섬광체에서 발생한 광은 전송용 광섬유를 따라 이동하여 광전자증배관(PMT)에서 pulse신호로 변환되고 이 신호를 증폭기에서 증폭하여 계수치로 출력하였다.

이렇게 제작된 센서에 대해서 선원의 세기와 센서와의 거리에 따른 변화를 파고스펙트럼과 총 계수치를 측정하였고, 상용화된 GM계수관식 Survey Meter를 사용하여 측정된 값과 비교분석하여 이 센서를 이용하여 방사선량계로 개발 가능한지 여부를 판단하였다.

실험장치 및 실험방법

본 연구에서 사용한 실험장치의 구성은 그림 1과 같으며 크게 센서부분, 신호전송을 위한 광섬유, 증폭장치 및 다중파고분석 장치로 구분할 수 있다. 그림 2는 센서부분을 상세하게 보여주고 있다. 센서에 사용된 섬광체는 CsI(Tl)로서 CsI에 0.1mole %의 Tl을 첨가하여 성장시킨 무기섬광체 결정으로 thallium(Tl)의 몰 농도 변화에 따른 발광스펙트럼의 변화는 그림 3과 같다. CsI(Tl)은 밀도와 실효원자번호가 크기 때문에 감마선에 대하

여 효율이 높고, 발광스펙트럼은 420 ~ 600nm의 파장을 가진다⁵⁾. 섬광체 외부는 내부에서 발생한 광의 반사를 위하여 알루미늄 foil로 감쌌으며 섬광체와 전송용 광섬유의 외부는 외부광의 차단을 위하여 열수축 tube로 피복하였다. 섬광체의 직경은 3 mm이고 한쪽 끝을 직경이 3 mm인 전송용 광섬유와 접합하였다.

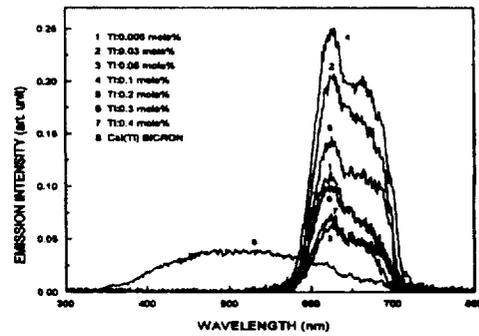


그림 3. Tl의 mole 농도 변화에 따른 CsI(Tl)의 발광스펙트럼 변화

전송용 광섬유는 플라스틱 광섬유이고 수광 단면적이 큰 Edmuond Optics사의 제품으로 코어 재질에는 PMMA(굴절률, $n_1=1.492$)가 사용되며, 클래딩 재질로는 불소계 폴리머(fluorine polymer, 굴절률 $n_2=1.402$)가 사용되었다. 표 1은 전송용 광섬유의 특성을 나타내고 있으며 그림 4는 파장에

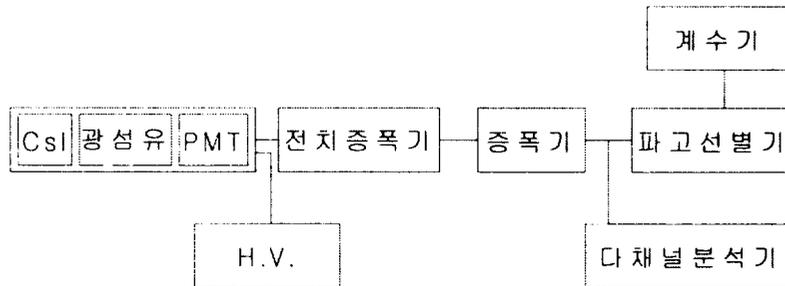


그림 1. 실험장치 구성도

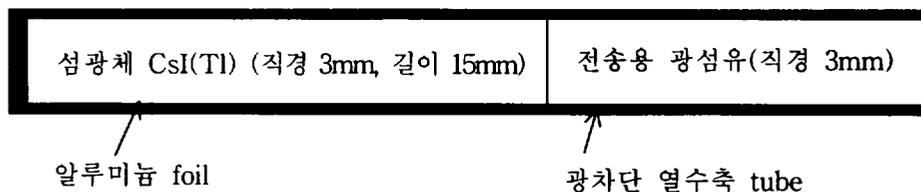


그림 2. 센서부의 상세도

다른 감쇠 특성을 보여주고 있다. PMT는 소형으로 창의 크기가 8mm인 Hamamatsu Model H5784로 Head on type으로 선정하였다. H5784는 광의 파장이 300 ~ 650nm를 측정가능하고, 420nm에서 감도가 피크치를 가진다.

표 1. 전송용 광섬유의 특성

Core Refractive Index (n_1)	1.492
Clad Refractive Index (n_2)	1.402
Numerical Aperture ($n_1^2 - n_2^2$)	0.51±0.33
Max Attenuation(dB/m)	0.19
Acceptance Angle($2 \sin^{-1}[N.A.]$)	61°
Operating Temperature(°C)	-55°C to +70°C
Minimum Radius of Bend	60

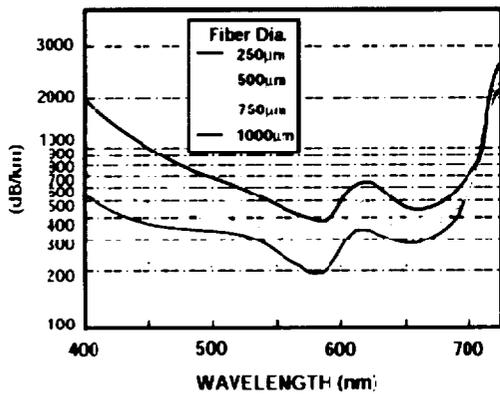


그림 4. 전송용 플라스틱 광섬유의 파장에 따른 감쇠 특성

증폭기는 Canberra Amplifier model 2012를 사용하였으며, PMT에 안정적인 전원공급을 위한 HV Power supply는 Hamamatsu model C3830)을 사용하였다. PMT의 출력신호 분석을 위한 다중과도분석기(MCA)는 PC에 장착하여 사용하는 Ortec trump 8k 32이고 소프트웨어는 Maestro32이다.

방사선원은 센서로부터 거리변환이 쉽도록 배치

하였다. 사용된 방사선원은 디스크형의 밀봉선원인 ¹³⁷Cs(1.096 μCi, 3.010 μCi, 5.296 μCi, 9.199 μCi) 감마선원이다. 센서주위는 주위의 배경방사능의 영향을 최소화하기 위하여 그림 5와 같이 납벽돌을 이용하여 차폐하였고 계측시간은 300sec로 하였다.

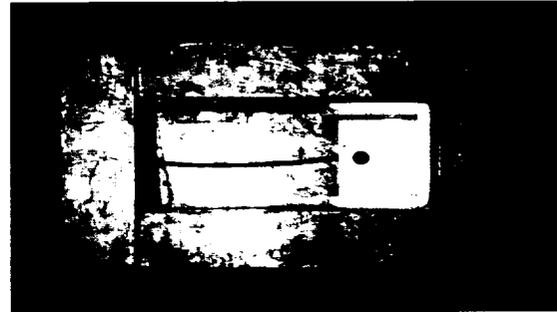


그림 5. 센서와 선원의 배치 및 납차폐벽

실험결과 및 고찰

본 연구에서 제작한 센서를 사용하여 방사선량 계측의 가능성을 실험하였다. 방사능과 총계수치 간의 비례관계를 분석하기 위하여 밀봉선원인 ¹³⁷Cs 1.096 μCi, 3.010 μCi, 5.296 μCi, 9.199 μCi에 대하여 각각 10회의 실험을 수행하였고, 거리에 따른 계수치의 변화를 확인하기 위해 0 cm, 1 cm, 3 cm, 5 cm, 10 cm에서 각각 10회의 실험을 수행하였다. 제시된 실험 결과는 이들 값의 평균치이다. 각 경우에 대해서 파고 스펙트럼과 총 계수치를 측정하였다. 그림 6은 방사능 변화에 따른 파고 스펙트럼의 변화를 보인 것이다. 방사능의 세기에 따라 peak의 위치를 비롯한 스펙트럼의 형태가 변하지는 않으나 방사능이 증가함에 따라 차별별 계수치가 증가함을 볼 수 있다. 그림 7은 방사능과 총계수치의 관계를 나타낸 것으로 총계수치가 선원의 방사능에 거의 비례함을 볼 수 있다. 그림 8은 9.199 μCi 선원에 대한 선원과 센서간의 거리에 따른 총계수치의 변화를 나타낸 것이다. 총계수치는 대체적으로 거리의 제곱에 비례하여 감소함을 볼 수 있다.

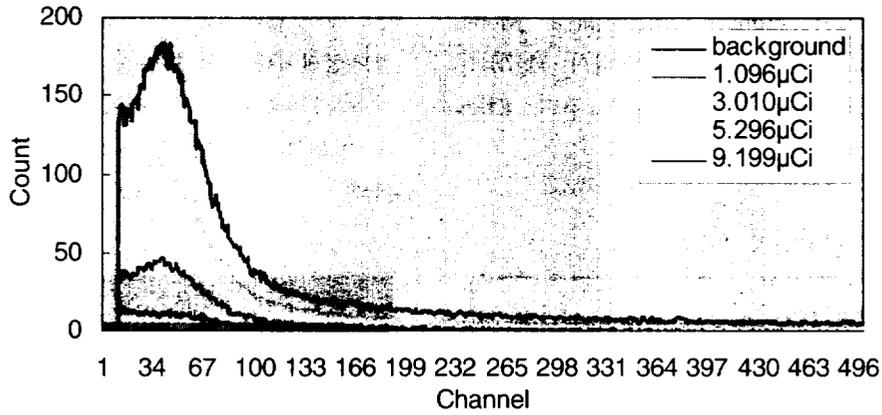


그림 6. 방사선원의 방사능 세기 변화에 따른 펄스 파고 스펙트럼

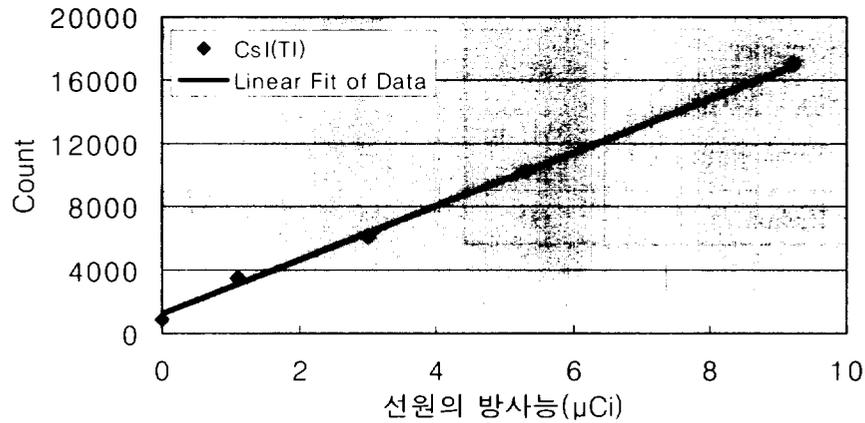


그림 7. 방사선원의 방사능 세기 변화에 따른 총 계수치 변화

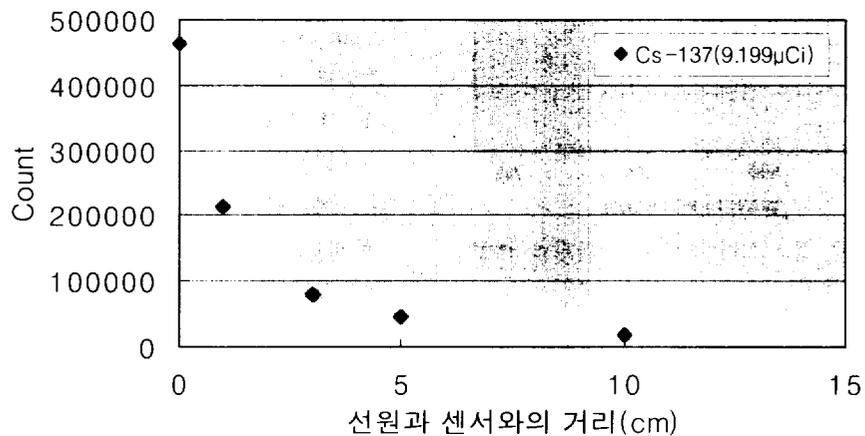


그림 8. 9.199 μCi 선원에 대한 선원과 센서와의 거리 변화에 따른 총 계수치 변화

그림 9와 10은 각각 선원과의 거리가 0cm, 5cm 일 때 상용화된 EG&G사의 GM계수관을 사용한 survey meter의 선량 측정치와 본 연구에서 제작

한 섬광체센서의 총계수치와의 관계를 비교한 것이다. 상용 survey meter인 경우 눈금값이 μSv/hr로 표시되기 때문에 두 결과의 비교를 위하여 최

대 방사능에서 두 측정치가 일치하도록 그래프를 그렸다. 선원과 센서간의 거리가 0cm일때 상용 survey meter와 본 연구에서 제작한 섬광체 센서의 측정결과가 거의 일치함을 볼 수 있다. 즉 섬광체 센서의 총계수치에 적절한 변환상수를 곱하면 바로 선량으로 환산될 수 있음을 알 수 있다. 선원과 센서간의 거리가 5cm일 때 두 측정결과간에 약간의 편차는 있으나 거의 일치함을 알 수 있다. 이러한 편차는 상용 survey meter와 섬광체 센서의 크기가 다르므로 인하여 기하학적 효율이 달라 발생한 것으로 여겨진다.

을 ^{137}Cs 감마선원 적용하여 선원의 방사능과 총계수치간의 비례관계를 분석하였다. 또한 선원과 센서간의 거리 변화에 따른 총 계수치의 변화를 분석하였다. 본 연구에서 제작한 섬광체 센서는 선원의 방사능에 비례하는 결과를 보였으며 거의 거리의 제곱에 반비례하는 결과를 보였다. 이 데이터와 상용화된 GM Survey Meter로 측정한 데이터를 비교한 결과 거의 일치하는 결과를 얻었다. 이러한 결과를 통하여 섬광체와 광섬유를 조합한 방사선 센서를 제작한다면 선량계로서의 가능성이 충분히 있음을 발견하였다. 이러한 선량계를 이용

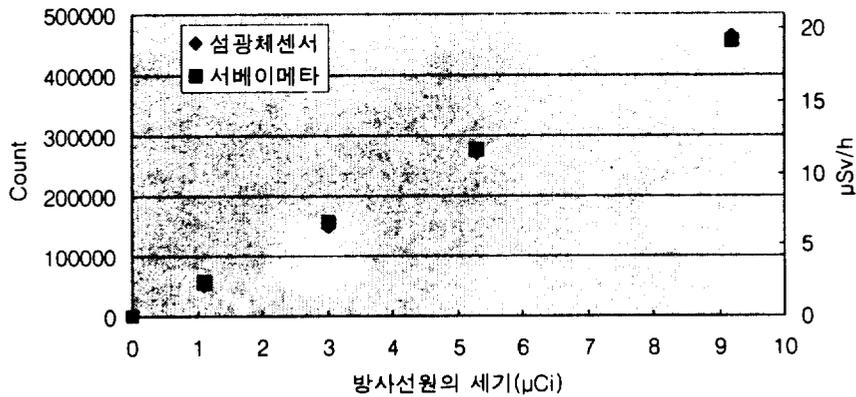


그림 9. 섬광체 센서와 상용 survey meter의 측정값 비교(거리 0 cm)

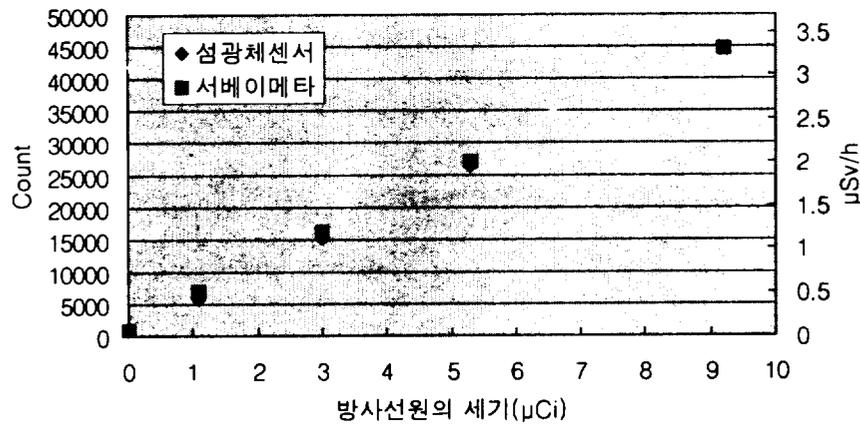


그림 10. 섬광체 센서와 상용 survey meter의 측정값 비교(거리 5 cm)

결론

무기섬광체인 CsI(Tl)의 소형 시편을 전송용 광섬유에 접속한 방사선 센서를 제작하였으며 이것

하면 기존의 선량계로는 측정이 곤란한 협소한 공간이나 방사능이 높아서 사람의 접근이 곤란한 곳의 방사선량을 원격으로 측정하는 것이 용이할 것이다.

참고문헌

1. T. Kakuta, "Optical Fibers and Their Applications for Radiation Measurements", JAERI-Conf 98-011 Japan Atomic Energy Research Institute, Japan. 1994.
2. Maekawa Tatsuyuki, "Multi Point Radiation Monitor by Waveguide Scintillator JAERI-Conf 98-011 Japan Atomic Energy Research Institute, Japan. 1994.
3. R. Van Geen, "Optical Fibere Sensing and Systems in Nuclear Enviroments" Proceeding of SPIE, Vol 2425, Mol, Belgium, 1994.
4. 홍상범, "광섬유를 이용한 방사선계측에 관한 연구", 제주대학교, 2002
5. G. H. Knoll, "Radiation Detection and Measurement", John Wiley & Sons, 1998.