

# 배열형 FBG 센서의 감마선 영향

김종열\* · 이남호\* · 정현규\*

\*한국원자력연구원

## Effects of Gamma Irradiation on Array Type Fiber Bragg Grating Sensors

Jong-Yeol Kim\* · Nam-Ho Lee\* · Hyun-Kyu Jung\*

\*Korea Atomic Energy Research Institute

E-mail : kimjr@kaeri.re.kr

### 요 약

본 논문에서는 배열형 센서로 제작된 광섬유 브래그 격자(FBG)의 감마방사선 영향을 분석하였다. 배열형 FBG는 동일한 상용 광섬유를 이용하여 서로다른 브래그 파장으로 제작되었다. 제작된 FBG는  $Co^{60}$  감마선원을 이용하여 약 113 Gy/min의 선량률로 총선량 약 100 kGy 감마선에 노출되었으며 방사선 조사 후 FBG 센서의 브래그 파장 변화, 온도감도 변화를 측정하여 방사선 영향을 분석하였다.

### ABSTRACT

In this study, we studied the gamma-radiation effect of fiber Bragg gratings (FBGs) manufactured by array sensors. The array FBGs were fabricated in a different Bragg wavelength using the same commercial Ge-doped fiber and exposed to gamma-radiation up to a dose of about 100 kGy at the dose rate of 113 Gy/min. It was analyzed radiation effects by measuring the radiation-induced change in the temperature sensitivity coefficient and Bragg wavelength shift after irradiation.

### 키워드

배열형 센서, 광섬유 브래그 격자, 감마선

### 1. 서 론

광섬유 센서가 다른 센서들에 비해 갖는 장점들은 전자소자 대신에 빛을 이용해 측정한다는 사실과, 이 측정신호의 전달 역시 빛으로 하고 있는데서 기인한다.

우선 전기가 통하는 전도체가 포함되어 있지 않으므로 주변의 여러 장치에서 발생할 수 있는 전자파 장애에 의한 잡음이 없고, 전기적인 접지, 누전, 감전 등의 염려가 없다. 크기가 작고 가벼우며, 거의 모든 종류의 물리량 측정에 이용할 수 있다. 특히 파장이 매우 짧은 빛을 기준으로 측정하게 되어 매우 높은 감도를 보장하고 있다. 뿐만 아니라 통신의 경우와 마찬가지로 광 손실이 적

고 정보전송 대역폭이 넓어 많은 수의 센서를 광섬유 한 가닥에 연결하여 동시에 측정할 수 있는 배열형 센서가 가능하며, 수십 km 떨어진 거리에서도 원격측정을 할 수 있고, 위치에 따른 물리량의 분포를 측정하는 분포계측이 가능하다.

특히, 광섬유 센싱 중 광섬유 브래그 격자 센서는 측정량이 브래그 반사 파장의 변화량이므로 측정이 간편하며 광섬유 격자의 광반사 파장의 선폭이 좁기 때문에 분해능이 높은 센서를 구성할 수 있다. 또한 브래그 반사 파장이 서로 다른 광섬유 격자들은 서로 영향을 받지 않으므로 하나의 광섬유를 이용한 다중점 측정이 가능하다. 광섬유 브래그(Bragg)격자 배열형 센서는 한 가닥의 광섬유에 여러 개의 광섬유 브래그 격자를 일

정한 길이에 따라 새긴 후 온도나 강도 등의 외부의 조건변화에 따라 각 격자에서 반사되는 빛의 파장이 달라지는 특성을 이용한 센서이다.

이러한 장점들을 바탕으로 FBG 센서는 기존 센서의 동작이 불가능한 환경에서도 사용이 가능하며, 1990년대 중반부터 원자력발전소, 우주와 같은 방사선 환경에 적용하기 위해 많은 연구가 진행되고 있다[1-4].

본 논문에서는 FBG를 원전과 같은 극한환경에 분포센서로 적용하기위해 광섬유 한 라인에 10개 이상의 배열형 격자를 새겨서 자체 제작하였으며 100kGy 급의 고방사선에 노출시켜서 방사선 영향을 분석하였다.

## II. 배열형 센서

본 연구에 사용된 배열형 FBG 센서 샘플은 KrF UV레이저를 이용하여 제작되었으며, 센서 특성 평가 시 파장접침을 방지하고자 격자의 브래그 파장은 서로 다르게 제작하였다. 광섬유의 광민감도를 향상시키기위해 수소로딩은 5일간 수행하였고, 격자 공정 후 안정화(annealing) 과정은 60도의 고온에서 진행되었다. 표 1은 제작된 배열형 FBG 센서의 주요특성을 나타낸다.

표 1. 배열형 FBG 센서의 주요특성

FBG	$\lambda_B$ [nm]	반사율 [%]	온도감도계수 [pm/°C]
Array-01	1519.91	80.3	10.9
Array-02	1524.97	77.8	11.3
Array-03	1529.92	80.3	11.0
Array-04	1534.97	80.3	11.4
Array-05	1540.07	74.8	11.2
Array-06	1544.95	80.3	11.6
Array-07	1550.02	77.8	11.3
Array-08	1554.91	77.8	11.5
Array-09	1560.55	77.8	11.3
Array-10	1564.96	80.3	10.4

그림 1은 제작된 센서의 실제모습을 나타낸다. 격자는 30cm 간격으로 총 10개를 만들었으며 양 끝단은 광섬유와 광커넥터로 연결하였다.

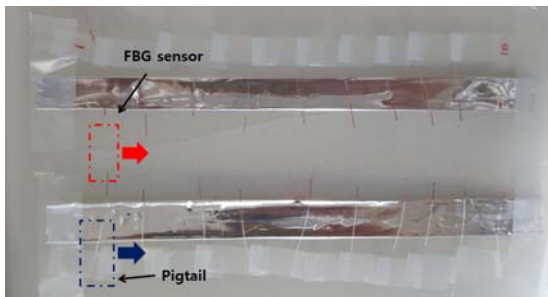


그림 1. 제작된 배열형 FBG 센서

## III. 실험 구성

FBG 센서의 방사선 조사에 따른 BWS(Bragg wavelength shift) 측정시스템은 감마선 조사시설을 고려해서 누적선량에 따라 각 테스트 샘플에 대한 반사파형, 광손실을 측정 할 수 있도록 구성하였다.

FBG 센서들의 주요 특성을 측정할 수 있는 측정 장비로 높은 정밀도(1pm)를 보이는 Micron Optics사의 sm-125 장비를 이용하였으며, 감마선 조사실의 온도를 모니터링하기위해 열전대 온도 센서와 데이터로거를 설치하여 모니터링을 하였다. 그림 2는 방사선 조사 전 측정된 각 배열형 FBG의 파장특성을 보여주는 실측화면이다.

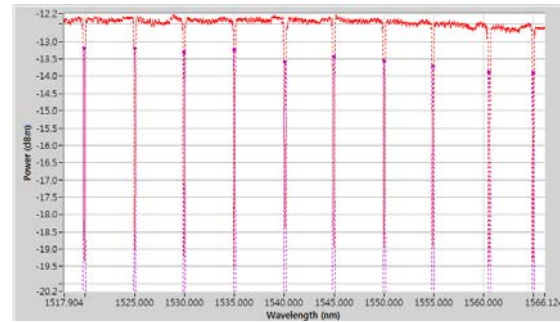


그림 2. 배열형 FBG 센서의 파장특성

## IV. 실험 결과

그림 3은 배열형 센서의 방사선 의한 브래그 파장변화를 나타낸 것이며, 10개 격자의 평균값을 나타낸다. 배열형 센서는 누적선량 10kGy까지는 파장변화가 급격하게 변화되었고, 이후 점차적으로 변화폭은 감소되는 경향을 보였다. 감마선에 의한 브래그 파장변화는 100 kGy의 감마선 조사 후 최대 약 30pm 정도였으며, 감마선 조사 후에는 본래의 상태로 돌아가려는 회복특성이 나타났다.

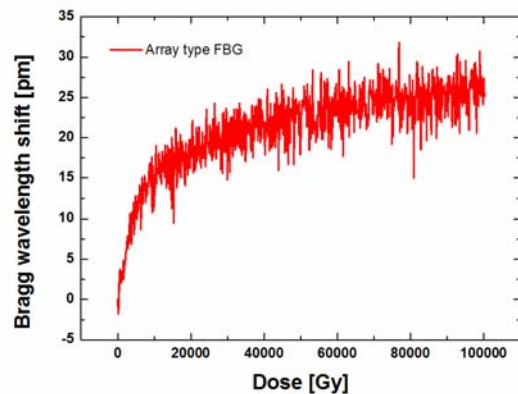


그림 3. 배열형 FBG 센서의 방사선 영향

표 2는 배열형 센서의 방사선 의한 온도감도 계수의 변화 특성을 나타낸다. 감마선 조사 후 온도감도 계수는 최대 8.8 % 정도의 변화를 보였다. 동일한 조건 및 공정으로 제작되었지만 격자마다 온도감도계수의 변화를 편차가 심하게 나타났다.

표 2. 감마선에 의한 온도감도계수 변화

FBG	온도감도계수 [pm/°C]		변화율 [%]
	방사선 조사 전	방사선 조사 후	
Array-01	10.9	11.2959	3.6
Array-02	11.3	11.6512	3.1
Array-03	11.0	10.9799	-0.2
Array-04	11.4	12.2970	7.9
Array-05	11.2	11.6748	4.2
Array-06	11.6	12.6190	8.8
Array-07	11.3	11.7910	4.3
Array-08	11.5	11.8306	2.9
Array-09	11.3	11.7859	4.3
Array-10	10.4	10.3671	-0.3

## V. 결 론

본 논문에서는 FBG 배열형 센서를 자체 제작하여 감마선에 대한 영향을 분석하였다. 100kGy 이상의 고방사선에 노출 시 최대 30pm의 파장변화를 보였지만, 계측기를 통한 센서측정에는 큰 문제가 발생하지 않았다. 하지만, 방사선 조사 종료 후 온도감도계수의 변화가 평균 4% 정도로 격자들의 편차도 심한 것으로 분석되었다.

향후 FBG 센서를 방사선 환경인 원전 혹은 우주에 적용하기 위해서는 브래그 파장 및 온도감도 계수 변화를 최소화하여 극한 환경조건에서 재현성이 확보되어야 한다.

이 논문은 2016년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(수중 원자력 배터리 및 방사능 센서 개발)

## 참고문헌

- [1] H. Henschel, D. Grobnic, S. K. Hoeffgen, et. al., "Development of highly radiation resistant fiber Bragg gratings," *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 58, no. 4, pp. 2103-2110, Aug. 2011.
- [2] A. Gusarov, D. Starodubov, F. Berghmans, O. Deparis, Y. Defosse, A. F. Fernandez, d, M. Decretton, P. Megret, M. Blondel, "Comparative study of the MGy dose level  $\gamma$ -radiation effect on FBGs written in different fibres," in *Proc. Int. Conf. Optical Fibre Sensors 1999 (OFS 13)*, Kyongju, Korea, pp. 608 - 611. A. Gusarov, S.
- [3] A. I. Gusarov, D. B. Doyle, N. K. Karafolas, F. Berghmans, "Fibers-Bragg gratings as a candidate technology for satellite communication payloads: radiation effects issues," *Conference on Photonics for Space Environments VII, SPIE Proceedings*, vol. 4134, pp. 253-260, 2000.
- [4] Vasiliev, O. Medvedkov, I. McKenzie and F. Berghmans et. al., "Stabilization of Fiber Bragg Gratings Against Gamma Radiation," *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 55, no. 4, pp 2205-2212, 2008.