

# 광섬유 브래그 격자의 고온 어닐링 조건에 따른 방사선 영향

김종열\* · 이남호\* · 정현규\* · 임돈순\*

\*한국원자력연구원

## Radiation Effects of Fiber Bragg Gratings on the High Temperature Annealing Condition

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

\*Korea Atomic Energy Research Institute

E-mail : kimjr@kaeri.re.kr

### 요 약

본 논문에서는 광섬유 브래그 격자의 고온 어닐링 온도조건에 따른 감마방사선 영향을 분석하였다. 제작된 광섬유 브래그 격자는  $Co^{60}$  감마선원을 이용하여 약 115 Gy/min의 선량률로 총선량 약 31 kGy 감마선을 조사하였다. 실험결과를 통하여, 각각 다른 온도로 안정화시킨 광섬유 브래그 격자들은 높은 온도에 노출될수록 방사선 민감도가 증가하는 것으로 나타났다.

### ABSTRACT

In this study, we studied the gamma-radiation effect of fiber Bragg gratings on the high temperature annealing condition. The fiber Bragg gratings were exposed to gamma-radiation up to a dose of 30.8 kGy at the dose rate of 115 Gy/min. According to the experimental data and analysis results, the gratings that were stabilized at different temperatures have clearly shown that exposure to higher temperatures increases their radiation sensitivity.

### 키워드

감마선, 광섬유 브래그 격자 센서, 어닐링 조건, 방사선 영향

### 1. 서 론

광섬유 브래그 격자(FBG)는 다양한 산업용 계측에 적용이 가능하며 많은 이점을 가지고 있다. 일반적으로 광섬유 브래그 격자(Fiber Bragg grating, FBG)는 가혹한 환경에서 소형, 높은 정확성, EMI 내성, 극한환경 내성, 온도와 스트레인 과 같은 물리적 변수의 직접 계측 등의 다양한 장점을 가지고 있다.

광통신 및 센싱을 통한 차세대 광기술은 고에너지 방사선 문제가 발생하는 우주, 원자력 시설, 고에너지 물리실험, 차세대 열핵 융합로를 포함하여 다양한 환경에서 도입되고 있다.

FBG의 원리는 전송되는 빛의 양이 아니라 반사율의 주기적인 형상에 의존하기 때문에 접속하는 내방사선 광섬유를 선택한다면 방사선 유입손실에 대한 문제는 거의 없다.

하지만 일반 광섬유 온도센서의 경우, 고준위 방사선에 노출될 경우 광섬유 전송손실 및 광특성 변화(Bragg 파장 변화)의 문제로 인해 원전 극한 환경용 온도센서로 사용함에 있어 치명적 한계를 지닌다. 따라서 고방사선 환경 내에서도 광손실 및 광 특성 변화가 없는 내방사선 특성을 갖는 특수 광섬유의 제조와 이를 기반으로 하는 원전 극한 환경용 온도센서 개발이 요구되고 있다[1-3].

최근에는 격자 제형성 기술과 펨토초 적외선 레이저 가공을 통해서 고온에서도 안정적인 FBG 센서들이 개발되었으며 고온, 이온화 방사선 환경과 같은 극한 조건에서 사용할 수 있는 가능성을 보여주었다. 내열/내방사선 FBG 센서들은 가혹한 환경에서 동작가능한 차세대 에너지 시스템 계측 및 제어를 위해서 요구되는 에너지 생산 분야에 적합한 특성을 보인다.

본 논문에서서는 어닐링 공정조건을 변경하여 FBG를 제작하였으며, 어닐링 온도조건에 따른 방사선 영향을 분석하였다.

### II. FBG 센서 공정제작

본 연구에 사용된 FBG 센서 샘플은 KrF UV레이저를 이용하여 제작되었다. 어닐링 공정조건은 표 1과 같다. 어닐링 온도는 100°C, 150°C, 200°C로 구분하여 공정조건별로 각각 6개의 샘플을 제작하였으며, 나머지 공정조건(수소로딩, 레이저 조건)은 동일한 조건으로 설정하였다.

표 1. 광섬유 브래그 격자의 공정조건

FBG	수소로딩 기간 [day]	어닐링 조건	
		시간 [hour]	어닐링 온도 [°C]
5-100-1	5	24	100
5-100-2	5	24	100
5-100-3	5	24	100
5-100-4	5	24	100
5-101-5	5	24	100
5-101-6	5	24	100
5-150-1	5	24	150
5-150-2	5	24	150
5-150-3	5	24	150
5-150-4	5	24	150
5-150-5	5	24	150
5-150-6	5	24	150
5-200-1	5	24	200
5-200-2	5	24	200
5-200-3	5	24	200
5-200-4	5	24	200
5-200-5	5	24	200
5-200-6	5	24	200

표 2는 광섬유 브래그 격자의 주요특성을 나타낸다. 제작된 FBG의 평균 반사율은 약 53% 정도이다. 온도감도계수는 30°C에서 100°C 까지 온도를 10°C 씩 단계적으로 올려서 매 구간 측정하여 평균값으로 산출하였으며, 온도감도계수는 전체적으로 10.4±0.1°C범위로 나타났다.

표 2. 광섬유 브래그 격자의 주요 특성

FBG	$\lambda_B$ [nm]	반사율 [%]	온도감도계수 [pm/°C]
5-100-1	1526.77	44.0	10.3
5-100-2	1527.83	66.3	10.4
5-100-3	1529.00	60.3	10.4
5-100-4	1531.70	69.3	10.4
5-101-5	1532.78	63.0	10.4
5-101-6	1534.00	41.3	10.4
5-150-1	1526.80	55.3	10.3
5-150-2	1527.85	63.0	10.3
5-150-3	1529.02	63.7	10.4
5-150-4	1531.71	29.3	10.4
5-150-5	1532.87	60.3	10.4
5-150-6	1533.95	47.5	10.4
5-200-1	1526.71	63.0	10.4
5-200-2	1527.79	60.3	10.4
5-200-3	1528.94	58.3	10.4
5-200-4	1531.69	39.3	10.5
5-200-5	1532.79	55.3	10.5
5-200-6	1533.95	20.7	10.5

### III. 실험 구성

FBG 센서의 감마선 조사에 따른 측정시스템은 그림 1에 나타난 것과 같이 감마선 조사시설을 고려해서 누적선량에 따라 각 테스트 샘플에 대한 반사파장 측정, FBG의 광손실, 브래그 파장변화를 모니터링 할 수 있도록 구성하였다.

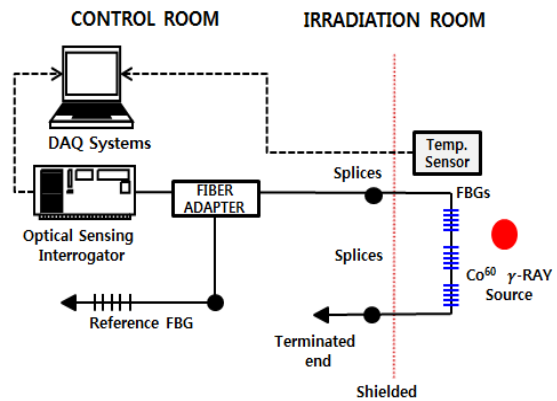


그림 1. 실험구성도

측정 장비는 FBG 센서들의 주요 특성을 측정할 수 있는 sm-125 장비를 사용하였으며 각 FBG 센서별로 측정된 데이터를 매 1분 간격으로 저장하였다.

FBG 센서는 감마선 선원과의 거리가 동일한 위치에 설치하였으며, 센서의 파장변화에 영향을 줄 수 있는 온도변화를 측정하기 위해서 샘플과 함께 온도센서(thermocouple)를 설치하였다.

방사선 선원은 첨단방사선연구소(정읍)의 고준위 감마선 조사시설의 Co<sup>60</sup> 감마선원을 이용하였다. 방사선 조사조건은 총누적선량 31 kGy, 선량률 115 Gy/min으로 하였다. 총누적선량/선량률은 광섬유의 방사선 시험절차에 따라서 조정하였다[4].

#### IV. 실험 결과

그림 2는 어닐링 조건에 따른 FBG 센서의 감마선 유입 BWS(Bragg wavelength shift) 특성을 보여준다. 그래프의 값은 각각의 어닐링 공정조건에 따른 평균값으로 나타났다. 방사선 조사 중에 온도 변화에 대한 브래그 파장의 변화값은 FBG 센서와 함께 설치된 온도센서의 값을 이용하여 보정하였다.

감마선에 노출되면서 200°C에서 어닐링을 수행한 FBG가 누적선량 31kGy에서 35pm로 가장 높은 방사선 민감도를 나타냈으며, 가장 낮은 방사선 민감도를 보인 것은 100°C에서 어닐링을 수행한 것으로 동일한 누적선량에서 17pm로 나타났다. 어닐링 온도 100°C와 비교하여 200°C에서 어닐링을 수행한 것은 BWS 변화가 최대 2배 이상 높은 것으로 나타났다.

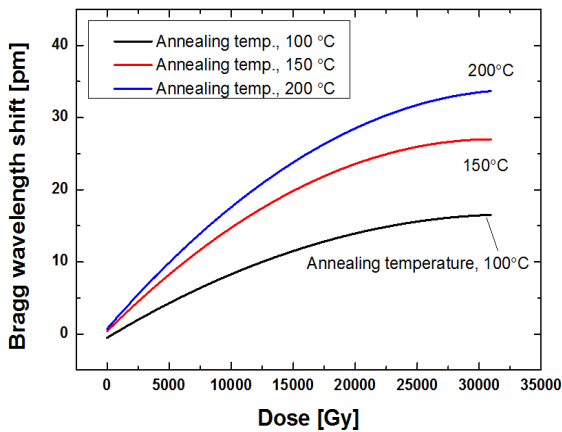


그림 2. 어닐링 조건에 따른 방사선 영향 분석

#### V. 결 론

본 연구에서는 어닐링 조건을 변경하여 FBG 센서를 제작하였으며, 어닐링 온도에 따른 감마선 영향을 분석하였다. 제작된 FBG의 어닐링 온도가 상승할수록 감마선 민감도가 높게 나타나는 경향을 보였으며, 최대 2배 이상의 큰 파장변화를 보였다.

실험결과를 통하여 FBG의 최적 어닐링 조건을 수립한다면 내방사선 특성을 충분히 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 또한 추가적인 최적 공정

파라미터 도출로 원전 혹은 우주와 같은 극한환경에서 사용할 수 있는 내방사선 FBG 개발이 가능할 것으로 전망된다.

이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 출연금으로 지원을 받아 수행된 주요연구(창의연구)사업임.

#### 참고문헌

- [1] A. Gusarov, S. 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.
- [2] 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.
- [3] A. Gusarov, D. Starodubov, F. Berghmans, O. Deparis, Y. Defosse, A. F. Fernandez, d, M. Decretion, 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.
- [4] TIA, "Procedure for Measuring Radiation-Induced Attenuation in Optical Fibers and Optical Cables," TIA/EIA Standard 455-64, 1998.