

# 광섬유 브래그 격자의 재코팅 방법에 따른 감마 방사선의 영향

김종열\* · 이남호\* · 정현규\*

\*한국원자력연구원

## Effects of Gamma Radiation on Fiber Bragg Gratings by the Fiber Re-coating Methods

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

\*Korea Atomic Energy Research Institute

E-mail : kimjr@kaeri.re.kr

### 요 약

본 논문에서는 광섬유 브래그 격자의 재코팅 방법에 따른 감마방사선 영향을 분석하였다. 제작된 광섬유 브래그 격자는  $Co^{60}$  감마선원을 이용하여 약 104 Gy/min의 선량률로 총선량 100 kGy 감마선을 조사하였다. 실험결과를 통하여, 아크릴레이트 재코팅 공정이 광섬유 브래그 격자의 방사선 민감도를 조금 저감시킨다는 것을 확인하였다.

### ABSTRACT

In this study, we studied the gamma-radiation effect of fiber Bragg gratings on the fiber re-coating methods. The fiber Bragg gratings were exposed to gamma-radiation up to a dose of 100 kGy at the dose rate of 104 Gy/min. In our experimental results, we confirmed that the fiber acrylate re-coating process leads to a slightly lower radiation sensitivity of FBGs.

### 키워드

감마선, 광섬유 브래그 격자 센서, 광섬유 재코팅, 방사선 영향

## 1. 서 론

광섬유 온도 센서란 광섬유를 이용하여 주변의 온도 변화를 감지하는 센서로서, 온도 변화에 따른 광 신호의 파장 변화 및 광세기 변화를 측정하는 방식을 사용하며 온도 센싱 민감도가 높고, 기존 센서가 갖는 장거리 전송과 원격 조정의 한계를 극복할 수 있는 기술로서 원자력 발전소용 온도 센서로서 적합한 특성을 가진다.

하지만 일반 광섬유 센서의 경우, 고준위 방사선과 고온에 노출될 경우 광섬유 전송손실 및 광 특성 변화의 문제로 인해 극한환경용 센서로 사용함에 있어 치명적 한계를 지닌다.

고방사선 환경에서의 광섬유 센서 연구는 국내에서는 수행된 사례가 거의 없으며, 대부분 국외에서 많은 연구가 수행되었다. 극한 환경용 내방사선 광섬유 센서 연구는 벨기에 SCK·CEN과 독

일의 Fraunhofer 연구소를 중심으로 광섬유 센서의 공정조건별 수소로딩, 펄소 초 공정, 특수 코팅 등을 이용한 내방사화 기법 연구가 진행되고 있다.

벨기에 SCK·CEN nuclear research center에서는 원자력 설비와 같은 방사선 환경에서 활용할 수 있는 FBG(Fiber Bragg grating) 및 Raman 센서에 대한 꾸준한 연구를 수행하였으며, FBG 센서의 방사선 종류, 광섬유 종류, FBG 공정기법 등 다양한 파라미터에 따른 방사선 영향을 분석하였다[1-3].

독일의 FemtoFiberTec사는 프라운호퍼 하인리히 헤르츠 연구소(Fraunhofer Heinrich Hertz Institute)와 Loptek Glasfasertechnik사와의 공동 연구를 통해서 펄소 초 레이저를 이용한 FBG 센서 공정기술을 개발했다. 이 기술을 이용하면 광섬유 종류, 코팅 종류와 관련없이 FBG 센서 제작

이 가능하며, 뛰어난 내구성을 가지고 있어서 고온 및 내방사선 환경에 활용이 가능할 것으로 기대되고 있다[4].

본 논문에서는 FBG 센서의 재코팅 공정에 따라서 FBG 시료를 제작하였으며, 재코팅 방법에 따른 방사선 영향을 분석하였다.

## II. FBG 제작

감마선 영향을 분석하기 위해서 제작된 FBG 센서 시료는 KrF 엑시머 UV레이저를 이용하여 제작되었다. 공정조건은 표 1과 같이 FBG 센서의 어닐링 온도는 100°C, 수소로딩 5일로 일정하게 유지시켰으며, 재코팅을 수행하지 않은 bare type, 일반적인 acrylate 재코팅, polyimide 튜브를 씌운 3가지 형태로 제작하였다.

FBG 센서의 주요특성인 반사율은 80% 이상, 온도감도 계수는 10.5~10.7 pm/°C 범위로 설계되었다.

표 1. 광섬유 브래그 격자의 공정조건

FBG	수소로딩 기간	어닐링 온도 [°C]	재코팅 방법
1-100-1	5일	100	Bare type
1-100-2	5일	100	Bare type
1-100-3	5일	100	Bare type
1-100-1R	5일	100	Acrylate coating
1-100-2R	5일	100	Acrylate coating
1-100-3R	5일	100	Acrylate coating
1-100-1P	5일	100	Polyimide tube
1-101-2P	5일	100	Polyimide tube
1-101-3P	5일	100	Polyimide tube

## III. 실험 구성

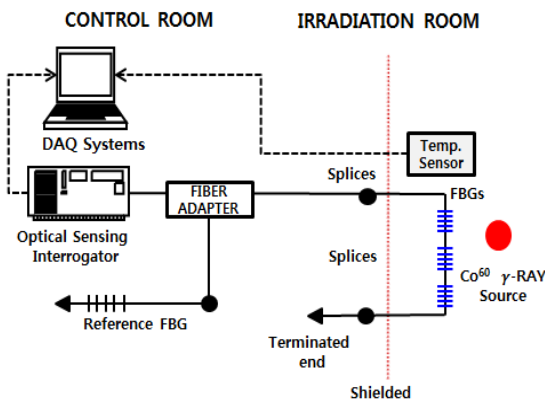


그림 1. BWS 측정 실험구성도

FBG 센서의 감마선 조사에 따른 BWS(Bragg wavelength shift) 측정시스템은 그림 1에 나타난 것과 같이 감마선 조사시설을 고려해서 누적선량에 따라 각 테스트 샘플에 대한 반사파장, FBG 광손실, BWS를 측정 할 수 있도록 구성하였다.

FBG 센서들의 주요 특성을 측정할 수 있는 측정 장비로 1pm 수준의 높은 정밀도를 보이는 Micron Optics사의 sm-125 장비를 사용하였으며 FBG에서 측정된 데이터를 1분 간격으로 저장하였다. 그림 2는 sm-125로 장비로 측정된 각 FBG의 파장특성을 보여주는 실측화면이다.

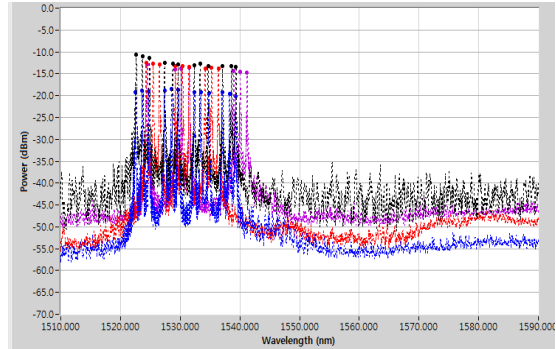


그림 2. FBG 파장특성 실측화면

감마선 조사실 내부에 FBG 센서의 파장변화에 영향을 줄 수 있는 온도변화를 측정하기 위해서 시료와 함께 온도센서(써머커플)를 설치하였다. 감마선 조사시 내부온도 변화는 1°C 내외로 큰 변화는 없었다.

방사선 선원은 첨단방사선연구소의 고준위 감마선 조사시설의 Co<sup>60</sup> 감마선원을 사용하였다. 감마선 조사조건은 총누적선량 100 kGy, 선량률 104 Gy/min으로 하였다. 미국 TIA/EIA 표준지침서[5]의 광섬유의 방사선 시험절차에 준하여 총누적선량과 선량률을 정하였다.

## IV. 실험 결과

그림 3은 재코팅 조건에 따른 FBG 센서의 감마선 유입 BWS 특성을 보여주며, 각 코팅 공정 조건에 따른 평균값으로 나타냈다. 방사선 조사 중에 온도 변화에 대한 브래그 파장의 변화값은 써머커플 온도센서로 측정된 값을 기준으로 보정 작업을 수행하였다.

FBG 센서들은 감마선의 영향으로 인해서 장파장 영역으로 Bragg 파장 이동 현상이 발생하였다. 특히, 누적선량 100 kGy의 감마선에 노출되면서 코팅을 수행하지 않은 bare type과 acrylate 코팅을 수행한 것은 거의 동일한 내방사선 특성을 보였 acrylate로 재코팅한 FBG가 조금 더 높은 내방사선 특성을 보였다. 이에 반해 polyimide 튜브로 씌운 FBG는 가장 낮은 내방사선 특성을

보였으며, bare type에 비해서 BWS 변화가 최대 20% 이상 높은 것으로 나타났다.

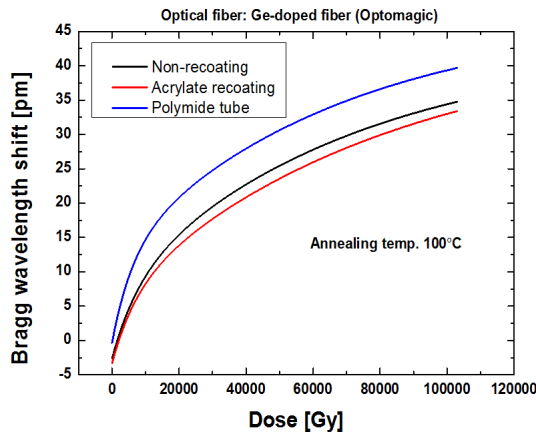


그림 3. 코팅방법에 따른 BWS 특성

### V. 결 론

본 논문에서는 FBG의 코팅방법에 따른 감마선 영향을 분석하였다. acrylate로 코팅한 FBG가 가장 우수한 내방사선 특성을 보였으며 polyimide 튜브를 씌운 FBG는 가장 낮은 내방사선 특성을 보였다.

polyimide 튜브를 씌운 FBG가 가장 낮은 내방사선 특성을 나타낸 것은 튜브 삽입 시 사용된 접착제 성분이 방사선 조사에 의해서 변형이 일어나 내부 격자에 물리적인 응력을 작용시킨 것이 원인으로 판단된다.

추가적으로 FBG의 코팅 종류에 따른 고온 특성을 평가한다면 원전과 같은 극한환경에서 사용할 수 있는 내방사선/내열 소재의 센서 개발에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

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

### 참고문헌

- [1] 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.
- [2] A. Gusarov, D. Starodubov, F. Berghmans, O. Deparis, Y. Defosse, A. F. Fernandez, d, M. Decreton, 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.
- [3] 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, Aug. 2008.
- [4] H. Henschel, D. Grobncic, 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.
- [5] TIA, "Procedure for Measuring Radiation-Induced Attenuation in Optical Fibers and Optical Cables," TIA/EIA Standard 455-64, 1998.