

광섬유 코팅 재료에 따른 펨토초 레이저 가공 FBG 센서의 방사선 영향

김종열* · 이남호* · 손익부**

*한국원자력연구원, **고등광기술연구소

Gamma-Radiation Effects of Femtosecond Direct-writing Fiber Bragg Gratings on Optical Fiber Coating Materials

Jong-Yeol Kim* · Nam-Ho Lee* · Ik-Bu Sohn**

*Korea Atomic Energy Research Institute, **Advanced Photonics Research Institute

E-mail : kimjr@kaeri.re.kr

요 약

본 논문에서는 800nm급 펨토초 레이저를 이용하여 FBG 센서를 제작하였다. 제작된 센서는 누적 방사선량 100kGy 감마선에 조사하였고, 광섬유 코팅재료에 따른 방사선 영향을 평가하였다.

ABSTRACT

In this paper, FBG sensor is fabricated using 800nm femtosecond laser. The sensor was irradiated with a cumulative dose of 100 kGy gamma ray, and the effect of radiation on the FBG coating material was evaluated.

키워드

펨토초 레이저 공정, FBG 센서, 내방사선, 광섬유 코팅

I. 서 론

방사선 환경에서 견딜 수 있는 내방사선 FBG 센서 연구는 광섬유 조성, 격자공정 기법 등을 통해서 국내외에서 많은 연구가 수행되었다. 최근 국외 연구보고서에 따르면, 방사선 환경에서 FBG 센서의 안정성을 높일 수 있는 내방사선 변수로는 FBG 광민감화 공정(수소로딩), 레이저 공정, FBG 공정기법, pre-irradiation, 어닐링 공정, 광섬유 종류 등이 보고되고 있다[1].

극한 환경용 내방사선 광섬유 센서 연구는 벨기에 SCK·CEN과 독일의 Fraunhofer 연구소를 중심으로 광섬유 센서의 공정조건별 수소로딩, 펨토초 공정, 특수 코팅 등을 이용한 내방사화 기법 연구가 진행되고 있다. 벨기에 SCK·CEN에서는 원자력 설비와 같은 방사선 환경에서 활용할 수 있는 FBG 및 Raman 센서에 대한 연구를 수행하였으며, FBG 센서의 방사선 종류, 광섬유 종류, FBG 공정기법 등 다양한 파라미터에 따른 방사선 영향을 분석하였다[2-5].

독일의 FemtoFiberTec사는 펨토초 레이저를

이용한 펄스형 FBG 센서 공정기술을 상용화하였으며, 이 기술을 이용하면 광섬유 종류, 코팅 종류와 관계없이 FBG 센서 제작이 가능하다. 또한 뛰어난 내구성을 가지고 있어서 고온 및 내방사선 환경에 활용이 가능할 것으로 기대되고 있다[6-7].

본 논문에서는 펨토초 레이저로 가공된 FBG 센서를 제작하였으며 누적선량 100kGy급 이상의 고방사선 환경에서 광섬유 재코팅 재료(아크릴레이트, 폴리이미드)에 따른 방사선 영향을 분석하였다.

II. FBG 제작

FBG 센서는 펨토초 IR레이저를 이용하여 제작하였다. 펨토초 레이저 공정을 통하여 코팅물질을 제거하지 않고 직접 레이저를 코어내부에 조사하는 가공방식(Direct-writing)을 적용하였다. 표 1은 FBG 제작에 사용된 광섬유 사양을 나타내며 표 2는 제작된 FBG의 주요특성을 보여준다.

표 1. 광섬유 사양

Model	Manufact.	Fiber type	Core /Cladding diam. [μm]	Coating
STD-AC-1	Corning	SMF-28	9/125	Acrylate
STD-NO-1	Corning	SMF-28	9/125	-
STD-PI-1	Fibercore	SM-1250BI	9.8/125	Polyimide

표 2. 제작된 FBG의 주요특성

FBG	λ_B [nm]	FBG length [mm]	Reflectivity [%]	FWHM [nm]
Std_AC-1	1515.02	3.8	61.5	0.34
Std_AC-2	1520.04	3.8	61.2	0.35
Std_AC-3	1525.08	3.8	69.1	0.38
Std_NO-1	1530.14	3.8	70.6	0.39
Std_NO-2	1535.07	3.8	69.8	0.41
Std_PI_1	1540.39	3.3	73.5	0.42
Std_PI_2	1545.10	3.3	67.7	0.41
Std_PI_3	1549.84	3.3	61.0	0.40

III. 내방사선 시험평가

FBG 센서의 방사선 영향을 평가하기 위해 감마선 조사환경을 고려해서 누적선량에 따른 FBG의 BWS 변화, 광 손실을 자동으로 저장할 수 있도록 구성하였다. 실제 누적선량 값의 정확성을 높이기 위해서 선량계(dosimeter)를 FBG와 동일한 위치에 부착하여 선량률을 미리 측정하였다.

실제 감마선 조사 시에는 그림 1과 같이 FBG 주변의 온도변화를 모니터링하기 위해 써머커플 온도센서와 데이터로거를 설치하였다. 실험 종료 후 온도변화에 대한 FBG 센서 파장변화 값을 보상하여 실제 방사선에 대한 영향만을 분석하였다.

IV. 실험 결과

실제로 코팅물질에 따른 FBG 센서의 내방사선 특성을 평가한 결과 100kGy 이상의 고방사선 환경에서 재코팅을 수행하지 않은 Bare 형태의 FBG가 가장 우수한 내방사선 특성을 보였다. 누적선량 10kGy 까지는 코팅물질에 따라서 큰 변화가 없었지만 누적선량이 증가하면서 코팅방법에 따른 방사선 민감도가 큰 차이를 보였다. 특히, polyimide 코팅과 Bare 타입을 비교하면 최대 5배 이상의 BWS 변화 차이를 보였다.

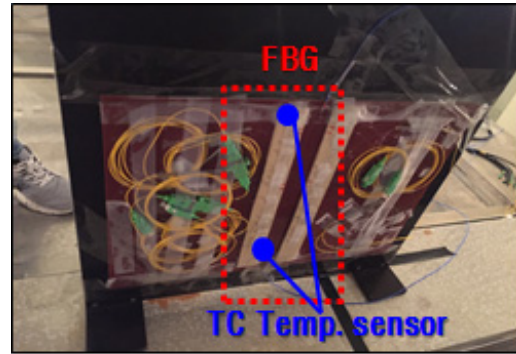


그림 1. FBG 센서 내방사선 시험평가

코팅 물질에 따른 BWS 차이의 원인은 방사선 조사에 의한 코팅물질의 수축/부풀어짐 현상이 크게 영향을 미친 것으로 분석된다. 코팅 물질이 수축되거나 부풀어지면 광섬유 내부격자에 응력(stress)이 발생하게 되어 Bragg 파장을 장파장 영역으로 이동시킬 수 있다.

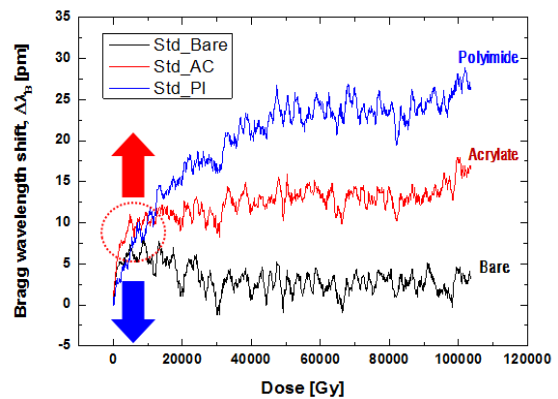


그림 2. 방사선에 의한 FBG 재코팅 재료별 BWS 특성

V. 결론 및 향후 연구방향

본 논문에서 FBG 센서의 코팅재료에 따른 방사선 영향을 분석하였다. 누적선량이 증가함에 따라 코팅재료에 의한 방사선 민감도가 큰 차이를 보임을 확인하였다. 실제로 광섬유 센서를 극한환경(고온/고방사선)에 적용하기 위해서는 재코팅 물질 및 패키징에 대한 문제를 많이 고려하여야 한다.

향후, 광섬유 센서 특수 코팅물질 및 패키징 기술을 개발하여 원전 압력경계 누설탐지를 위한 신개념 복합 센싱기술을 개발하고자 한다.

이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (원자력연구개발사업, NRF-2017M2A8A4017221)

참고문헌

- [1] H. Henschel, et. al., "Influence of fiber composition and grating fabrication on the radiation sensitivity of fiber Bragg gratings," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol. 55, no. 4, pp. 2235-2242, Sep. 2008.
- [2] A. Gusarov, et. al., "Stabilization of fiber bragg gratings against gamma radiation," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol. 55, no. 4, pp 2205-2212, Aug. 2008.
- [3] A. Morana, et. al., "Radiation hardening of FBG in harsh environments," *2014 23rd International Conference on Optical Fiber Sensors*, vol. 91578I, Jun. 2014.
- [4] S. J. Mihailov, "Fiber Bragg grating sensors for harsh environments," *Sensors 2012*, vol. 12, no. 2, pp. 1898-1918, Feb. 2012.
- [5] G. Y. Buymistriuc, "Radiation-Hard and Intelligent Optical Fiber Sensors for Nuclear Power Plants," in *Nuclear Power - Control, Reliability and Human Factors*, InTech Pub., ch 7, pp. 119-144, Sep. 2011.
- [6] A. Gusarov, et. al., "Gamma- radiation effects on Bragg gratings written by femtosecond UV laser in Ge-doped fibers," *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 57, no. 4, pp 2024-2028, 2010.
- [7] A. Martinez, et. al., "Thermal properties of fiber Bragg gratings inscribed point-by-point by an infrared femtosecond laser," *ELECTRONICS LETTERS*, vol. 41 no. 4, 2005.