

펨토초 레이저로 제작된 광섬유 브래그 격자 센서의 방사선 영향

김종열* · 이남호* · 정현규* · 임돈순*

*한국원자력연구원

Radiation Effects on Fiber Bragg Gratings Written by Femtosecond Laser

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 펨토초 레이저로 제작된 광섬유 브래그 격자 센서의 감마방사선 영향을 연구하였다. 제작된 광섬유 브래그 격자 센서는 Co⁶⁰ 감마선원을 이용하여 106 Gy/min의 선량률로 총선량 31.6 kGy 감마선을 조사하였다. 실험결과를 통하여 펨토초 레이저로 제작된 격자 센서가 고방사선 환경에서 뛰어난 내방사선 특성을 가짐을 확인하였다.

ABSTRACT

In this study, we studied the effect of Co⁶⁰ gamma-radiation on the fiber Bragg gratings written by femtosecond UV laser in single mode optical fibers. The fiber Bragg gratings were exposed to gamma-radiation up to a dose of about 31.6 kGy at the dose rate of 106 Gy/min. According to the experimental data and analysis results, we confirmed Bragg gratings written by femtosecond laser have the excellent radiation-hardened characteristics for high radiation environments.

키워드

펨토초 레이저, 감마선, 광섬유 브래그 격자 센서, 방사선 영향

1. 서 론

광섬유 FBG 온도 센서는, 광섬유 코어 내에 굴절률 격자를 새겨서 Bragg 조건에 따른 특정 파장이 반사되는 현상을 이용한 것으로 주변의 온도 변화에 따라 Bragg 조건이 바뀌어 FBG 반사 파장의 변화를 측정하는 광기술을 기반으로 한다. Bragg 파장 변화는 일반적으로 ~ 10 pm/°C 온도 센서 민감도를 나타내며 매우 민감한 온도 변화 감지가 가능하다. 또한 센서 구현 및 설치가 간편한 장점이 있으며, 특정 지점의 온도 측정이 가능한 점(point) 센서 계측에 적합하다.

FBG는 식 (1)의 브래그 조건을 만족하는 파장을 반사하고, 그 외의 파장은 그대로 투과시키는 특성을 갖는다.

$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda \quad (1)$$

식 (1)에서의 λ_B 는 Bragg 파장, n_{eff} 는 유효 굴절률, Λ 은 격자 사이의 간격을 나타낸다. 식 (1)에 온도 변수(T)를 적용하면 식 (2)의 선형식을 얻을 수 있으며, 온도변화에 따른 Bragg 파장의 변화를 통해서 온도계측이 가능하다.

$$\lambda_B(T) = \lambda_B(T_0) + \alpha_0(T - T_0) \quad (2)$$

$\lambda_B(T_0)$ 는 기준온도(T_0)에서의 Bragg 파장을 나타내며, α_0 는 온도감도계수이다.

현재 FBG 센서의 방사선 영향 및 내방사선 기술에 관한 연구는 유럽을 중심으로 활발히 진행되고 있다.

특히, 벨기에의 원자력연구센터(SCK·CEN)에서

는 원자력 설비와 같은 방사선 환경에서 활용할 수 있는 FBG 및 Raman 센서에 대한 꾸준한 연구를 수행하였으며 방사선 종류, 광섬유 종류, FBG 공정기법 등 다양한 파라미터에 따른 방사선 영향을 분석하였다[1-3].

최근 연구보고서에 따르면 방사선 환경에서 FBG 센서의 안정성을 높일 수 있는 내방사화 기법으로 FBG 수소로딩 최소화[4], 펄스초 레이저 공정[5], 전 조사 기법(pre-irradiation) 등이 보고되고 있다.

본 논문에서는 펄스초 레이저로 제작된 FBG 센서를 대상으로 Co⁶⁰ 감마선을 조사하여 누적선량에 따른 Bragg 파장변화를 분석하였다.

II. FBG 센서

본 연구에 사용된 FBG 센서 샘플은 펄스초 레이저를 이용한 공정기법(Point by point writing)을 이용하여 독일 FemtoFiberTec사에서 제작되었다. 제작된 FBG의 반사율은 약 50% 내외이며, 온도감도계수는 30 °C에서 100 °C 까지 온도를 10 °C 씩 단계적으로 올려서 매 구간 측정하여 평균값으로 산출하였다.

표 1. 광섬유 브래그 격자의 주요 특성

구분	λ_B [nm]	반사율 [%]	온도감도계수 [pm/°C]
Femto FBG-1	1515.0	55	10.4
Femto FBG-2	1520.1	54	10.5
Femto FBG-3	1525.0	45	10.4
Femto FBG-4	1530.0	47	10.5

III. 실험 구성

FBG 센서의 감마선 조사에 따른 측정시스템은 그림 1에 나타낸 것과 같이 방사선 실험 환경을 고려해서 누적선량에 따라 각 테스트 샘플에 대한 반사파장 측정, 실험샘플의 광과워 손실, 파장변화를 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 구성하였다.

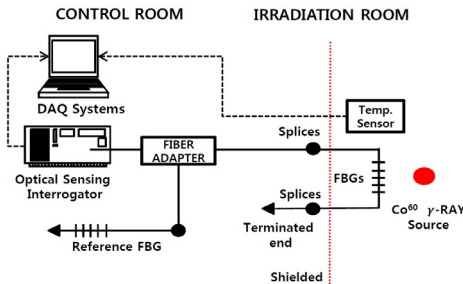


그림 1. 실험구성도

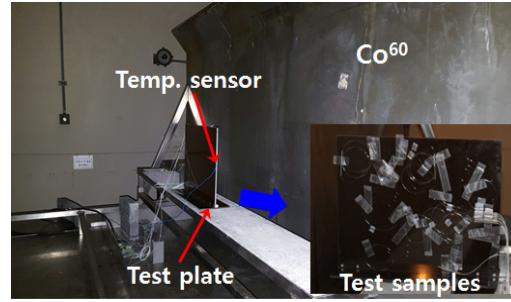


그림 2. 고준위 감마선 조사시설 내 FBG 센서 설치사진

측정 장비는 FBG 센서의 주요 특성을 측정할 수 있는 Optical Sensing Interrogator(sm-125) 장비를 사용하였으며 Ethernet으로 연결되어 측정된 데이터를 매 1분 간격으로 저장하였다.

FBG 센서는 그림 2와 같이 조사대에 고정하여 동일한 선량(위치)에 설치하였으며, 센서의 파장변화에 영향을 줄 수 있는 온도 변화를 측정하기 위해서 샘플과 함께 온도 센서(thermocouple: K type)를 설치하여 온도를 확인하였다. 방사선 조사실 외부의 제어실에는 기준 센서를 설치하여 측정의 정확성을 높였다. 또한 Alanine 선량계를 FBG 샘플과 동일한 위치에 부착하여 누적선량을 확인하였다.

방사선 선원은 첨단방사선연구소(정읍)의 고준위 감마선 조사시설의 Co⁶⁰ 감마선원을 이용하였다. 방사선 조사조건은 총누적선량 31.6 kGy, 선량률 106 Gy/min으로 하였다. 총누적선량/선량률은 광섬유의 방사선 시험절차에 따라서 조정하였다[6]. 방사선 조사 시 실내 온도는 27.9 °C에서 최대 29.5 °C까지 상승하였다.

IV. 실험 결과

그림 3은 펄스초 레이저로 제작된 FBG 센서의 BWS 특성을 나타낸다. 방사선 조사 중에 온도 상승에 대한 Bragg 파장의 변화값은 FBG 주변에 설치된 온도 센서의 값을 측정하여 보정하였다.

누적선량 17 kGy 이상에서는 실내온도변화가 거의 없었으나, 감마선의 영향으로 인해서 BWS (Bragg wavelength shift)는 장파장(Red shift)으로 계속 상승하는 경향을 보였다.

BWS 변화가 가장 큰 샘플은 Femto_FBГ-1으로 감마선 조사 시 최대 16.4 pm의 변화를 보였고, 가장 작은 변화량을 보인 샘플은 Femto_FBГ-4으로 최대 13.7 pm의 변화를 보였다.

표 2는 방사선 조사 종료 후 24시간 상온에서 어닐링 과정을 거치고 방사선에 의한 온도 감도계수 변화를 측정한 것이다. 방사선에 의한 FBG 센서의 온도 감도 계수(α_0) 변화율은 1% 내외로 방사선 조사 전후의 차이가 거의 없었다.

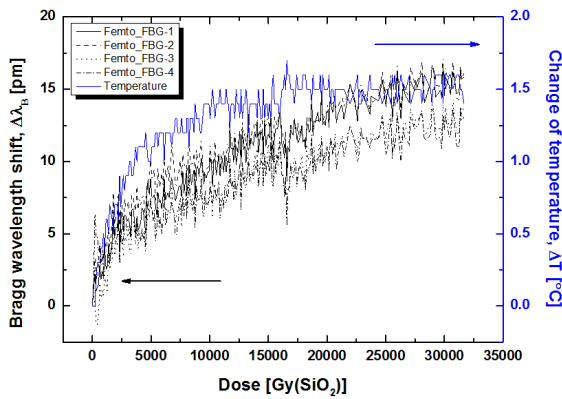


그림 3. FBG센서의 BWS 변화

표 2. 방사선 조사에 의한 온도감도 계수 변화

구분	온도 감도 계수(α_0) [pm/°C]		변화율 [%]
	방사선 조사 전	방사선 조사 후	
Femto FBG-1	10.4	10.3	-1.0
Femto FBG-2	10.5	10.5	-
Femto FBG-3	10.4	10.5	+1.0
Femto FBG-4	10.5	10.5	-

V. 결 론

본 연구에서는 펄초 레이저를 이용하여 제작된 FBG 센서를 대상으로 방사선에 의한 Bragg 파장과 온도 감도계수 변화에 대한 실험을 수행하였다. 지난 연구결과[7]와 비교하여 펄초 레이저로 제작한 FBG 센서는 UV KrF 레이저를 이용하여 제작한 FBG 센서보다 약 5배 이상 낮은 BWS 특성을 보였고, 온도감도계수의 변화도 오차범위내로 거의 변화가 없었다. 이것은 FBG 격자 공정 시 UV KrF 공정과 비교하여 펄초 레이저를 이용할 경우 짧은 시간동안에 레이저 펄스를 인가함으로써 광섬유 내부의 손상을 최소화시켰고, 이로 인해서 방사선에 의한 BWS 변화에 내성을 가질 수 있었던 것으로 판단된다.

이 논문은 2015년도 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 γ -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, 2008.
- [4] H. Henschel, S. K. Hoffgen, K. Krebber, J. Kuhnenn and U. Weinand, "Influence of Fiber Composition and Grating Fabrication on the Radiation Sensitivity of Fiber Bragg Gratings," *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 55, no. 4, pp. 2235-2242, 2008.
- [5] 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, 2011.
- [6] TIA, "Procedure for Measuring Radiation-Induced Attenuation in Optical Fibers and Optical Cables," TIA/EIA Standard 455-64, 1998.
- [7] J. Y. Kim, N. H. Lee, H. K. Jung, "The Study of Radiation Sensitivity on Fiber Bragg Grating Written in Photo-sensitive Optical Fibers," *Journal of KIICE*, Vol. 18 no. 8, 2014