

상용 단일모드 광섬유의 양성자 영향

김종열* · 김영웅 · 류국빈 · 황영관 · 이민웅 · 송근영

한국원자력연구원

Proton induced Effects on Commercial Single-mode Optical Fibers

Jong-yeol Kim* · Young-woong Kim · Guk-been Ryu · Young-gwan Hwang ·

Min-Woong Lee · Keun-young Song

Korea Atomic Energy Research Institute

E-mail : kimjr@kaeri.re.kr

요 약

본 논문에서는 양성자 가속기를 이용하여 5종류의 상용 단일모드 광섬유에 대해서 양성자 조사에 따른 전송손실 특성평가를 수행하였다. 조사 시험에 사용된 양성자 빔은 100 MeV 급의 고에너지 빔을 가지며, 빔 조사면적에 대한 균일도는 10% 이하로 설정하여 시험을 수행하였다. 양성자 조사에 따라서 광섬유 종류(내부 소재, 불순물)의 영향에 따라서 방사선 유입에 의한 광 손실 특성은 큰 차이를 보였다.

ABSTRACT

In this paper, the proton induced attenuation characteristics were evaluated for 5 types of commercial single-mode optical fibers using a proton accelerator. The proton beam used in the irradiation test has a high energy of 100 MeV class, and the test was performed by setting the uniformity of the beam irradiation area to 10% or less. According to the type of optical fiber (internal material, impurities), the radiation induced attenuation by the proton irradiation showed a noticeable difference.

키워드

양성자 이온빔, 방사선 유입 손실, 단일모드 광섬유, 내방사선

1. 서 론

방사선은 방사선의 종류, 에너지 크기, 선량(dose), 선량률(dose rate), 그리고 광섬유의 종류에 따라서 광섬유 본래의 특성을 변화시킬 수 있다. 방사선 환경은 크게 자연방사능, 원자로, 핵융합로, 우주 환경 등으로 분류할 수 있으며 환경에 따라서 나타나는 방사선의 종류, 에너지 크기, 선량, 선량률은 큰 차이점이 있으며 광섬유에 미치는 영향도 각각 다르다[1].

이온화 방사선이 광섬유에 미치는 가장 큰 영향은 광신호의 감쇠(attenuation)를 증가시키는 것이다. 이 메커니즘은 컬러 센터(color center) 형성 모델을 사용하여 단순화 시킬 수 있다. 광섬유의 모재(preform) 제조 시 그 분자 물질은 고정되며 광

섬유가 제조된 후에 그 분자구조는 굳어진다. 방사선이 광섬유에 흡수되면 광섬유 격자구조에 변화가 일어나며 그 현상은 이온화, 전자의 분리, 유리 구조 내에서의 도펀트(dopant)의 분리, 그리고 자유 수소로부터 OH⁻ 이온의 형성 등으로 나타난다. 각각의 구조 변화는 특정한 파장 영역의 빛을 흡수할 수 있는데 주로 자외선 또는 가시광선 스펙트럼 영역이다. 광섬유는 무정형 구조를 갖는 대표적인 물질이기 때문에 구조가 복잡하고 일정하지 않다. 구조가 복잡하면 다양한 형태의 결합에너지 준위가 존재하고 손실은 여러 파장 대역에서 나타날 수 있다[2].

본 논문에서는 100 MeV급의 양성자 가속기 시설을 이용하여 5종류의 상용 광섬유에 대한 양성자 조사 시험을 시행하였으며, 그에 따른 방사선 영향을 분석하였다.

* corresponding author

II. 실험 구성

광섬유의 방사선 유도 광손실(Radiation induced attenuation, RIA) 측정 실험을 위해서 그림 1과 같이 실험 구성을 하였다. 다채널(4 ch.)로 측정시스템을 구성하여 실시간 광섬유 입출력 광 파워 변화값이 자동 로깅되도록 하였으며, 광원(Fiberlabs ASE-FL7004), 멀티채널 파워미터(OPL-710), 써머커플 온도 센서 데이터 로거(HIOKI 8430-20) 등의 측정장비를 이용하였다. 실험 중 광섬유 시료 주변의 온도변화는 24.3 ~ 24.7°C로 일정하게 유지되었다.

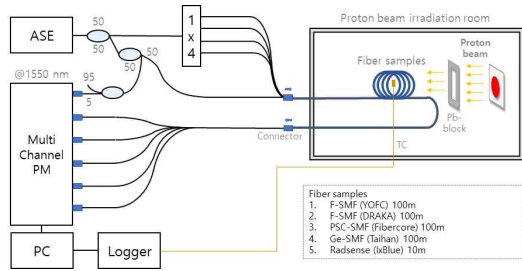


그림 1. 광섬유 양성자 조사 실험 구성도

광섬유 시료는 상용 광섬유 5종류(통신용 광섬유 4종류, 방사선 센서용 광섬유 1종류)를 선정하였다. 구부림 손실을 방지하고 샘플이 겹치지 않으면서 양성자 조사 면적 내에 위치하기 위해 그림 2와 같은 형태로 시료를 구성하였다.

표 1. 광섬유 시료

No.	Optical fiber	Manufacturer	Length(m)
1	F-SMF	YOFC	100
2	F-SMF	Draka	100
3	PSC-SMF	Fibercore	100
4	Ge-SMF	Taihan	100
5	Radsense	IxBlue	10

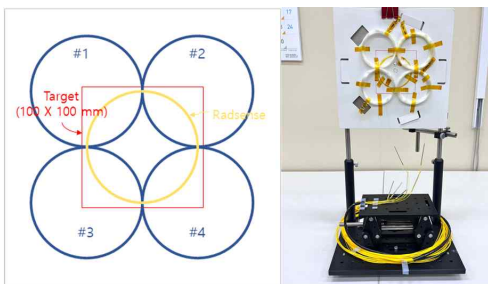


그림 2. 양성자 빔 조사용 시료 구성

실험에 사용된 양성자 빔은 균일하게 발생하는 100 mm × 100 mm 영역을 조사 면적으로 사용하였다. 양성자가속기의 조사조건은 입사 에너지 97.2 MeV, 조사 균일도(uniformity) > 9.73%, 조사 선속 1.106×10^7 p/cm².pulse, 조사 선량 9.992×10^1 p/cm²으로 설정하였다.

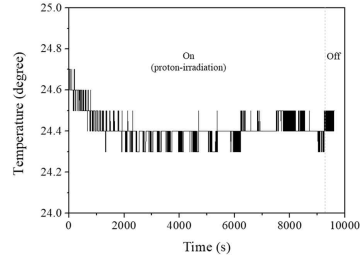


그림 3. 광섬유 시료 주변 온도 변화

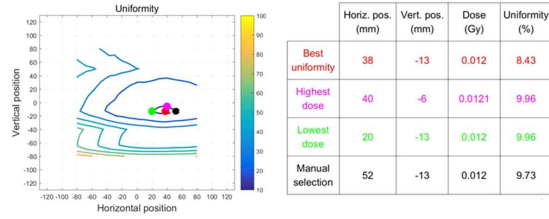


그림 4. 양성자 빔 uniformity 측정 결과

III. 실험 결과

광섬유에 대한 양성자 유입 손실은 광섬유의 종류에 따라서 큰 차이를 보였다. 양성자 유입에 의한 RIA는 Ge(germanium)가 함유된 통신용 광섬유(Ge-SMF, Taihan)가 가장 높았으며, F(fluorine)가 광섬유 코어 및 클래딩에 함유된 내방사성 광섬유(F-SMF, Draka)가 가장 손실이 작게 측정되었다. 특히, 비슷한 조성과 구조를 가지는 Draka사에서 제조한 F-SMF가 YOFC사의 F-SMF보다 뛰어난 내방사선 특성을 보였다. 이것은 광섬유 내부 조성은 비슷하더라도 도펀트의 농도 차이에 따라서 방사선 유입에 따른 효과가 달라진 것으로 생각된다.

Radsense 광섬유는 방사선에 대한 민감도가 높아 양성자에 대한 RIA 변화가 크게 나타났다. 양성자 조사 Fluence 대비 방사선 센서의 손실 값은 선형적으로 나타났으며, 1 Gy당 4.78 dB/km의 손실이 발생하였다. 선형 fitting 분석 결과, R-square 값이 0.99894로 선형 유사도가 높게 나타났으며 실제 방사선 센서로 활용이 가능함을 확인하였다.

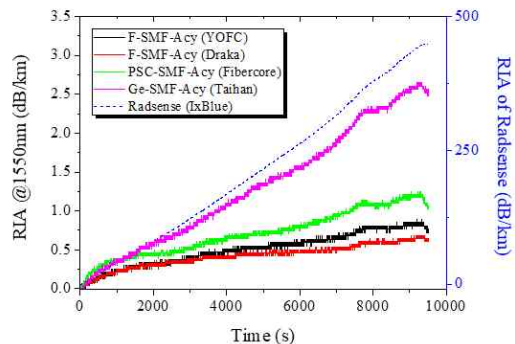


그림 5. 광섬유 RIA 측정 결과

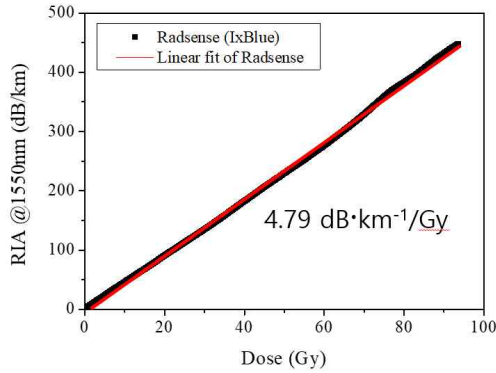


그림 6. 방사선 센서용 광섬유 RIA 특성

IV. 결론

본 논문에서는 5종류의 상용 광섬유를 대상으로 양성자 유입에 따른 광섬유 RIA 특성을 비교하였다. 양성자 유입에 의한 광손실 값은 Ge-doped 광섬유 보다 F-doped 광섬유가 훨씬 낮게 나타나서 내방사선 특성이 우수함을 확인하였다.

방사선 센서용 광섬유(Radsense)는 양성자에 대한 민감도가 높고, 조사 Fluence 대비 방사선 센서의 RIA 값이 선형적으로 나타나서 방사선 센서로 활용도가 높을 것으로 판단된다.

향후 동일한 선량조건에서 방사선 종류(양성자, 중성자, 감마선)에 따른 광섬유의 광 특성을 분석하면 다양한 방사선 환경에서 광섬유를 분포형 센서(온도, 진동, 방사선 등)로 활용이 가능할 것으로 전망된다.

Acknowledgement

이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(가동원전 안전성 향상 핵심기술개발사업 RS-2 022-00144110).

References

- [1] S. Girard, A. Morana, A. Ladaci, T. Robin, L. Mescia, J. J. Bonnefois, et. al, "Recent advances in radiation-hardened fiber based technologies for space applications," *Journal of Optics*, Vol. 20, No. 9, pp. 2-5, Aug. 2018.
- [2] S. Girard, J. Kuhnenn, A. Gusarov, B. Brichard, et. al, "Radiation effects on silica-based optical fibers : Recent advances and future challenges," *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, Vol. 60, No. 3, pp. 2015-2021, Jun. 2013.