

# 새로운 중공 광자결정 섬유를 이용한 광섬유 액체 센서

## Fiber Optic Liquid Sensor

### Using Novel Hollow Core Photonic Crystal Fiber

박지영, 김중기, 이세진, 서용곤, 오경환, Jens Kobelke\*  
 연세대학교 물리학과 광소자물리연구실  
 \*Institute of Photonic Technology (IPHT), Jena, Germany  
 koh@yonsei.ac.kr

#### 1. Introduction

최근 광자결정 광섬유(Photonic Crystal Fiber, 이하 PCF)는 기존의 일반적인 광섬유들이 갖지 못하는 도파특성을 얻을 수 있다는 장점 때문에 광전송매체 뿐 아니라 광소자, 광센서 분야의 응용으로 주목 받고 있다.<sup>[1,2]</sup> PCF는 capillary hole이 주기적으로 분포되어 있으며, hole의 위치, 크기와 배열을 변화시키면, 모드 분포, 비선형성, 분산 특성을 조절할 수 있다. PCF는 또한, 코어의 특성에 따라 solid core와 중공 코어(hollow core)로 나뉠 수 있는데, 특히 hollow core인 경우에는 특정 파장 영역 대에서만 transmission을 보이는 bandgap-guiding 방식으로 해당 영역 내에서 흡수선을 갖는 기체나 액체를 검출하는 광센서에 응용되었다.

본 연구에서는, index-guiding 도파를 통해서 광대역에 걸쳐 transmission band가 형성되는 새로운 형태의 중공 광자결정 광섬유(Hollow core PCF, 이하 HC-PCF)를 도입하여, water와 ethanol에 의한 투과 변화를 측정하여 액체 검출 센서로서의 가능성을 탐구하였다.

#### 2. Experiment and Result

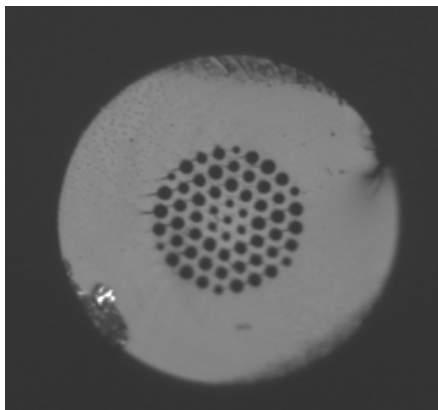


그림1. 새로운 형태의 중공 광자결정 광섬유(9d5)

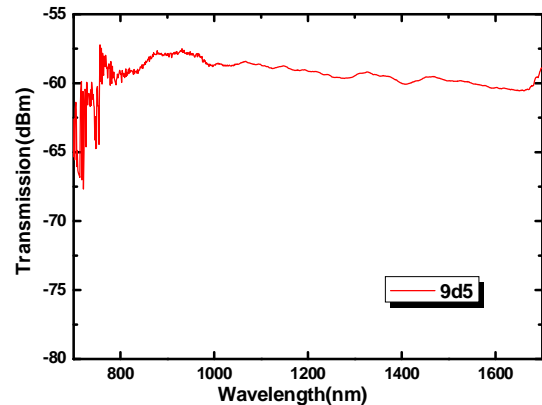


그림2. 9d5의 스펙트럼 분석

본 연구에서 도입한 새로운 형태의 HC-PCF(9d5)는 중앙에 하나의 홀을 갖는 일반적인 HC-PCF와는 다르게, 그림1에서와 같이, 중앙 capillary hole 1개와 capillary hole ring 1개로 다공성 중공 코어를 구성하며, 클래딩에는 capillary hole ring 3개가 존재한다. 연구용으로 제작된 이 광섬유는 직경(d)이 평균

129.4 $\mu\text{m}$ 이고, capillary hole의 영역은 57.5 $\mu\text{m}$ 이다. Ge 도핑된 코어의 d는 18.3 $\mu\text{m}$ 로 이 영역의 홀은 d가 3.4 $\mu\text{m}$ ,  $d/\Lambda$ 는 0.52이다. P-F 도핑된 클래딩은 클래딩 홀의 d는 4.6 $\mu\text{m}$ ,  $d/\Lambda$ 는 0.64이다. 백색광에 대한 투과성 스펙트럼은 그림 2와 같이 약 800~1700nm의 영역 대에서 높은 투과를 보였다. 화학물질 센서에 쓰이는 HC-PCF의 경우 사용 대역이 약100~200nm로 한정되어 있으며 Thorlab의 HC-1550나 HC-1060의 경우 투과영역이 각각 1450~1650nm, 1015~1105nm이다. 이는 9d5가 화학물질에 대한 충분한 민감도를 가진다면, 광범위한 영역 대에서 여러 가지 화학물질의 다양한 흡수선을 검출해 내는 멀티 센싱 광섬유로써 응용될 수 있음을 시사한다.

water(H<sub>2</sub>O)와 ethanol(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)에 대한 투과 특성을 살펴보았다. 용량 60ml 주사기를 사용하여 압력차를 이용하여 광섬유를 액체 샘플로 채웠으며 샘플이 광섬유의 홀을 충분히 채울 때까지 water의 경우 3분, ethanol의 경우 20분간 기다린 후 백색광을 사용해서 스펙트럼을 분석하였다. 광섬유에 채워진 액체의 양을 측정하는 대신 20cm, 30cm, 50cm의 길이 변화를 주어 분석해 본 결과, 흡수 peak가 생기는 위치는 변화하지 않고 일정했다. 20cm의 짧은 길이만으로도, water의 경우, 그림3과 같이 약 -25dB의 peak가 약 1450nm에서 생겼고, ethanol의 경우, 그림4와 같이 -20dB~-30dB의 loss가 1400~1700nm로 광범위하게 나타났다. 이 같은 결과는 근적외선 영역의 water와 ethanol의 흡수선과 일치한다; 각각 1450nm, 1400~1600nm이다.<sup>[4]</sup>

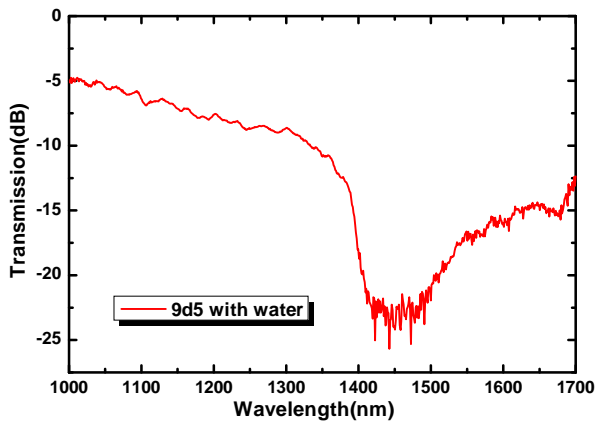


그림3. H<sub>2</sub>O를 채운 20cm 9d5의 스펙트럼

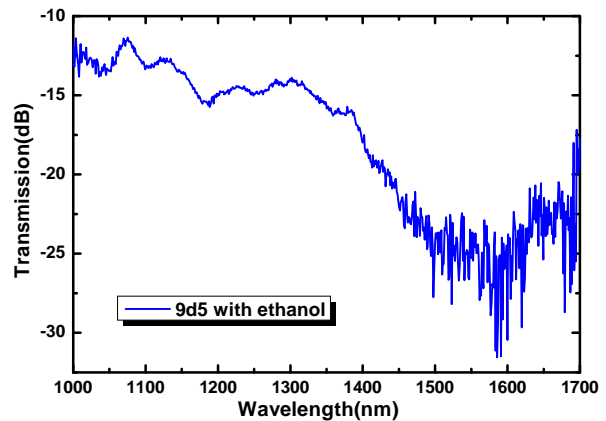


그림4. C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH를 채운 20cm 9d5의 스펙트럼

### 3. Conclusion

광대역에서 높은 transmission을 보이는 다공성 중공 코어를 갖는 PCF를 도입하여 water와 ethanol을 채운 후 스펙트럼을 분석한 결과, 해당 샘플의 흡수선과 일치하는 영역에서 강한 흡수 peak가 관찰되었고 이를 통해 chemical multi sensor로의 응용 가능성을 확인하였다.

### Acknowledgements

이 논문은 한국과학재단 (과제번호 ROA-2008-000-20054-0, R01-2006-000-11277-0, R15-2004-024-00000-0), 국제과학기술협력재단 (과제번호 2008-8-0506, 2008-8-1893), 한국산업기술평가원 (과제번호 2007-8-2074, 2008-8-1195), 그리고 한국학술진흥재단 두뇌한국 21 사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

- [1] P. Russel, Science, Vol. 299, No. 17 January, pp. 358-362 (2003)
- [2] J. C. Knight, Nature, Vol. 424, No. 14 August, pp. 847-851 (2003)
- [3] C. M. Smith et al., Nature, No. 7 August, Vol. 424, pp.657-659 (2003)
- [4] M. Gallignani, S. Garrigues, M. Guardia, The Analyst, September, Vol. 118, pp. 1167-1173 (1993)