

중수(D<sub>2</sub>O)와 경수(H<sub>2</sub>O) 혼합물의 테라헤르츠 특성연구Optical Properties of D<sub>2</sub>O and H<sub>2</sub>O Mixtures in Terahertz Region

정중건 손주혁\*

서울시립대학교 물리학과

130-743 서울시 동대문구 전농3동

\*E-mail - joohiuk@uos.ac.kr

자연 상태의 물에 0.0015% 포함되어 있는 중수(D<sub>2</sub>O)는 경수(H<sub>2</sub>O)와 화학적 물리적 성질이 매우 비슷하다. 중수와 경수 모두 무색 무취이고 Debye relaxation time은 300 K에서 7.5 ps로 동일하다<sup>(1)</sup>. 하지만 중수의 D(deuterium)는 경수의 H에 중성자 한 개가 포함되는 동위원소이므로 중수는 경수보다 약 11% 더 무겁다.

중수는 생물학적으로 농도가 25%이상으로 높아지면 세포와 조직에 독성을 지니고<sup>(2)</sup> 정상세포 보다 악성세포에 독성이 더 강하게 나타난다<sup>(3)</sup>. 정상세포에는 독성이 없고 악성세포에만 독성이 나타나는 중수의 농도와 생물학적 작용기전을 밝히는 것은 매우 중요한 연구가 된다. 중수의 농도는 세포에 독성의 영향을 주는 매우 중요한 요소이므로 테라헤르츠 분광학을 이용한 중수의 농도에 따른 광학상수 특성 연구는 중수를 이용한 악성세포 치료에 근간을 마련할 수 있을 것이다.

테라헤르츠 영역(0.2~2 THz)에는 거대분자들의 결합에너지, 수소결합에너지 등이 존재한다<sup>(4)</sup>. 위상(phase)과 진폭(amplitude)을 동시에 측정이 가능하여 유전상수(dielectric constant), 굴절률(refractive index) 및 흡수율(absorption)을 직접적으로 구할 수 있는 테라헤르츠를 이용한 분광학 연구는 극성분자와 반응성이 좋아 물에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다. 테라헤르츠 시간축 분광학을 이용한 본 연구를 통해 경수와 중수의 혼합물 농도에 따른 특성 변화를 관찰 할 수 있다.

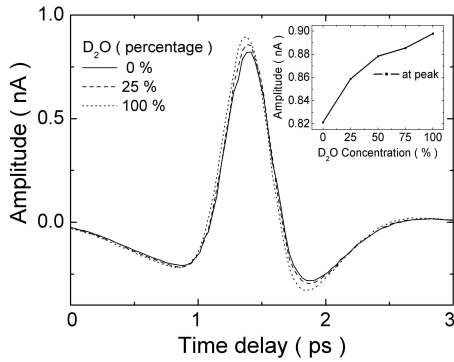
본 연구에서는 테라헤르츠 시간축 분광학을 이용하여 경수와 중수 혼합물의 중수 농도에 따른 광학상수들을 측정하고 각각의 결과들을 비교하였다.

본 실험은 온도 21 °C, 습도 6%인 환경에서 중수의 농도가 0%, 25%, 50%, 75%, 100%인 경수(DI water)와 중수의 혼합물을 두께가 3 mm인 두 개의 실리콘 윈도우 사이에 두께가 100 μm 스페이서를 가지 홀더에 주사하여 실험하였다.

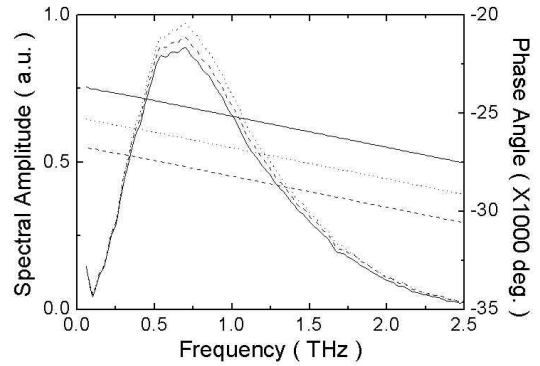
실험 장치는 InAs에 반치폭이 80 fs이고 중심 파장이 800 nm인 초고속 펄스 레이저를 입사시켜 테라헤르츠 전자기파를 발생시켰고, 다이폴 간격이 5 μm인 광전도 안테나를 이용해 신호를 추출하였다.

그림 1는 각각의 시료를 홀더셀에 주사한 후 측정된 시간축 신호 중 신호의 차이를 보기 위해 시료 없이 측정된 레퍼런스 신호와 50, 75%의 신호는 그래프에서 생략한 0, 25, 100%를 나타낸 신호이고, 각 농도의 최고지점의 진폭을 삽입된 그림으로 나타내었다. 그림 1의 삽입된 그림과 같이 중수의 농도가 증가할수록 최고 지점의 진폭은 증가하는 것을 볼 수 있다. 그리고 이것들을 고속 푸리에 변환(FFT ; Fast Fourier Transformation) 하여 그림 2에 주파수축에서 진폭과 위상을 나타내었다.

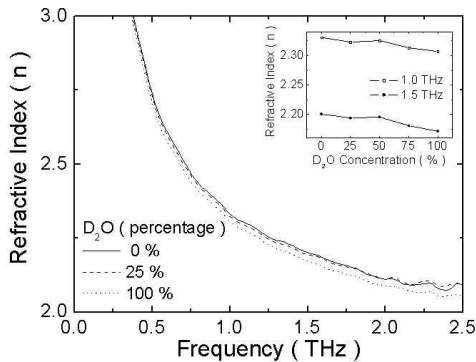
그림 3과 4는 그림 1, 2의 데이터를 이용하여 얻은 중수의 농도별 굴절률과 흡수율 중 식별이 용이하도록 50, 75%를 제외한 0, 25, 100% 나타낸 그래프이다. 그림 3의 굴절률은 같은 농도에서는 주파수가 커질수록 굴절률은 감소하고, 그림 3의 삽입된 그림에서와 같이 농도에 따라서는 중수의 농도가 증가함에



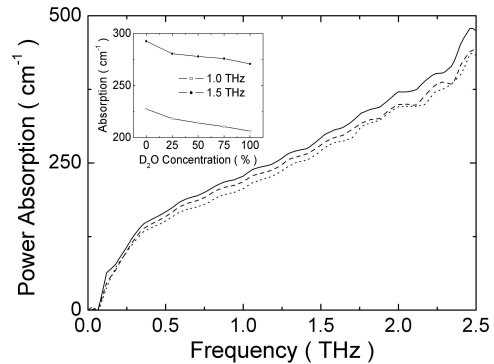
[그림 1] 시간축에서 측정된 시료를 투과한 신호 삽입된 그림은 농도별 최고점에서의 amplitude을 나타냄



[그림 2] FFT를 통해 주파수축에서 amplitude 와 phase



[그림 3] 0%, 25%, 100% 시료의 농도별 굴절률 삽입된 그림은 1.0, 1.5THz에서의 농도별 굴절률



[그림 4] 0%, 25%, 100% 시료의 농도별 흡수율 삽입된 그림은 1.0, 1.5THz에서의 농도별 굴절률

따라 굴절률이 감소함을 알 수 있다. 주파수가 2 THz 이상 커지면 굴절률은 2.1에 수렴하고 그림 3의 삽입된 그림에서와 같이 1.5 THz와 1.0 THz의 굴절률 차는 각각의 농도에서 일정하다. 그림 4와 같이 중수의 농도가 증가 할수록 흡수율 또한 감소하고 그림 4의 삽입된 그림과 같이 1.5 THz와 1.0 THz의 흡수율도 일정한 차이를 가진다.

이번 연구를 통해 미지의 혼합물에서 중수의 농도를 측정할 수 있고 중수의 농도별 굴절률 흡수율 등의 광학 전기적 상수를 측정함으로써 중수의 위와 같은 효과의 기전을 파악하는 시발점을 제시할 수 있다.

#### 참고문헌

1. C. Rønne, P. O. Åstrand, and S. R. Keiding, "Thz Spectroscopy of Liquid H<sub>2</sub>O and D<sub>2</sub>O," Phys. Rev. Lett., vol. 82, 2888-2891 (1999)
2. S. Vasdev, C. A. Sampson, and A. Liepins, J. Hypertens, "Effects of Deuterium Oxide (D<sub>2</sub>O) on the Development of Hypertension and Ca<sup>2+</sup> Homeostasis in Spontaneously Hypertensive Rats," J. Hypertens., vol. 8, 185-189 (1990)
3. D. J. Kushner, A. Baker, and T. G. Dunstall, "Pharmacological Uses and Perspectives of Heavy Water and Deuterated Compounds," Can. J. Physiol. Pharmacol., vol. 77, 79 - 88 (1999)
4. S. J. Oh, C. Kang, I. Maeng, and J-H. Son, "Measurement of carrier concentration captured by InAs/GaAs quantum dots using terahertz time-domain spectroscopy," Appl. Phys. Lett., vol. 90, 131906-1~131906-3 (2007)