

테라헤르츠 영역에서의 치아 특성연구

Optical properties of human tooth in terahertz frequency region

맹인희, 손주혁

서울시립대학교 물리학과

joohiuk@uos.ac.kr

테라헤르츠 전자기파(terahertz electromagnetic waves)는 주파수 대역상 마이크로파(microwaves)와 적외선 사이의 낮은 에너지 대역(1 THz = 4 meV)에 위치하는 전자기파로 영상시스템에 적용하여 수백 μm 의 분해능으로 테라헤르츠 대역에서의 광학상수를 측정할 수 있다⁽¹⁾. 인체에 무해하며 신체 조직에서의 반사율이 높아 생체 영상 획득에 적합하나 물에 대한 흡수가 커서 피부, 유방, 치아 등 피부표면에 있거나 물의 함유가 적은 부분에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^(2,3).

본 연구에서는 투과형 테라헤르츠 시간축분광학(terahertz time-domain spectroscopy, THz-TDS)시스템을 통하여 치아 시료의 영상과 광학상수를 획득하였다. 테라헤르츠 분광시스템은 80 fs의 Ti:Sapphire 펄스레이저 빔을 InAs <100> 전기광학결정에 입사시켜 테라헤르츠 전자기파를 발생시키며, 광전도 안테나를 이용한 광스위칭 방법으로 검출하였다. 시료는 ENE 치과에서 인공침에 담긴 채로 4개의 3번째 어금니로 수직방향으로 자른 형태로 제공받았다. 발생한 테라헤르츠 전자기파가 치아시료를 통과하기 전, 후의 신호를 각각 시간축상에서 측정한 후 주파수 대역의 신호로 변환하여 테라헤르츠 영역의 복소광학 상수를 획득하였다.

테라헤르츠로 측정한 치아시료의 이미지를 가시광선의 이미지와 비교하여 그림 1에 표시하였다. 테라헤르츠 이미지는 가시광선과 비교하여 각 구성성분 - 사기질(enamel), 상아질(dentin), 치수(pulp)에 따라 다른 투과율을 보이는 것을 확인할 수 있다. 사기질은 96%의 무기결정과 3%의 물, 1%의 유기 세포간질으로 이루어져있고 상아질은 70%가량의 수산화인회석으로 석회화되어 있고 나머지 섬유성 단백질 교원질로 이루어져있다⁽⁴⁾. 이들 각 각을 구별하여 THz-TDS 시스템을 이용하여 테라헤르츠 대역의 광학상수를 측정하였다. 그림 2에는 THz-TDS 시스템에서 획득한 시간축과 주파수축의 신호를 표시하였다. 이 신호의 차이를 통하여 테라헤르츠 영역에서의 흡수율과 굴절률을 측정하였다. 그림 3을 통해서 보면 주파수가 증가함에 따라 사기질과 상아질 모두의 흡수율은 증가하는 양상을 보이지만, 굴절률은 전 영역에서 균일한 것을 확인할 수 있다. 시료에 상관없이 사기질이 상아질보다 높은 굴절률과 낮은 흡수도를 보이지만 각 시료에 따라 그 값들은 변화가 있었으며, 사기질이 상아질보다 그 변화의 폭이 더 컸다.

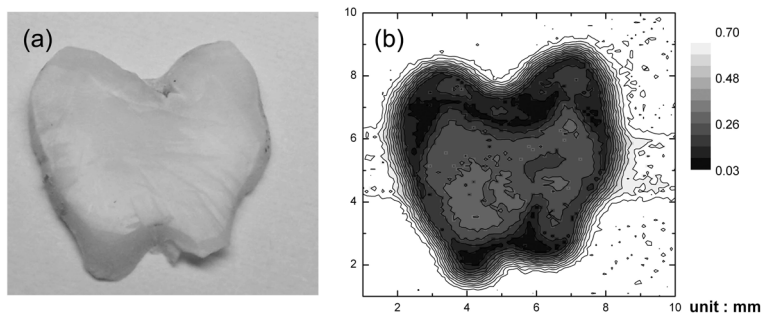


그림 1. 치아시료의 가시광선 이미지(a)와 테라헤르츠 이미지(b).

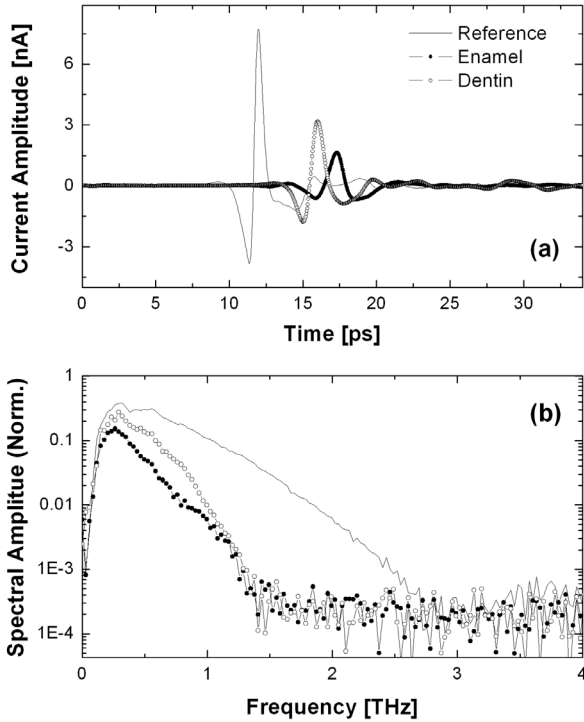


그림 2. THz 전자기파 신호와 사기질, 상아질을 투과한 시간축(a), 주파수축(b) 신호.

또한 한 치아시료의 인공침에서의 상태와 마른 상태의 광학특성을 비교하여 보았는데, 그림 4에서와 같이 사기질에서는 그 특성이 달랐으나, 상아질에서는 별다른 차이점을 발견하지 못하였다. 유효매질 이론을 통하여 분석한 결과 치아시료의 사기질에 포함되어 있는 수분이 15 % 정도였다. 이것은 잘려진 시료의 표면에서 수분의 흡수가 일어난 것으로 여겨진다.

참고문헌

1. D. Griskowsky, S. Keiding, M. Van Exter and Ch. Fattinger, "Far-infrared time-domain spectroscopy with terahertz beams of dielectrics and semiconductors", J.Opt. Soc. Am. B 7, 2006, (1990).
2. R. M. Woodward, V. P. Wallace, R. J. Pye, B. E. Cole and D. D. Arnone, "Terahertz Pulse Imaging of ex vivo Basal Cell Carcinoma", J Invest Dermatol 120, 72-78, (2003)
3. D. Crawley, C. Longbottom, V. P. Wallace, B. Cole, D. Arnone, " Three-dimensional Terahertz Pulse Imaging of Dental Tissue", J. Biomed. Opt., Vol. 8, 303 (2003)
4. J. H. Scott and N. B. Symons, "Introduction to dental anatomy", Edinburgh, Churchill Livingstone, (1974)

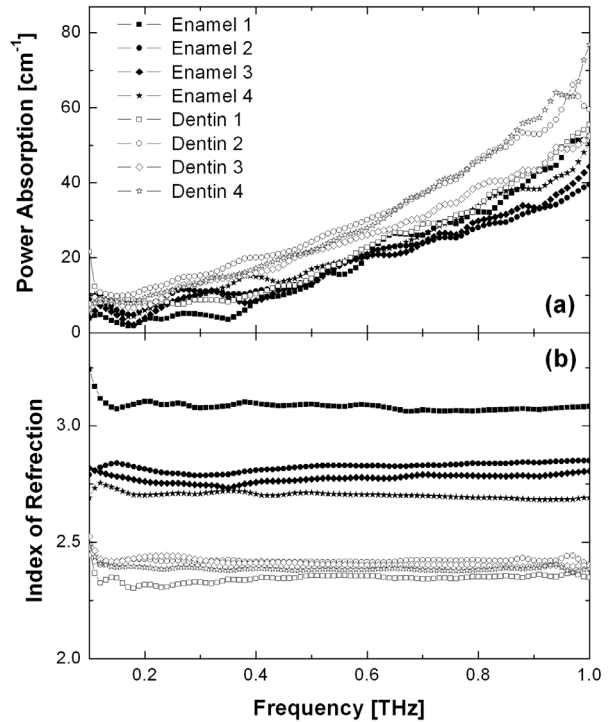


그림 3. 사기질, 상아질의 흡수율(a)과 굴절률(b).

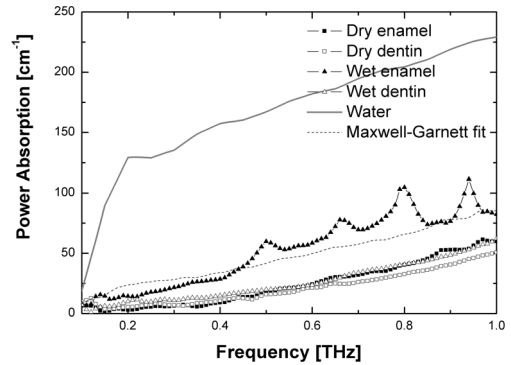


그림 3. 인공침에 담긴 시료와 마른 시료의 흡수율.