

# 테라헤르츠 이미징을 위한 결맞음 광학 컴퓨터

## Coherent optical computing for T-ray imaging

이강희, 진경환\*, 예종철\*, 안재욱  
 KAIST 물리학과, \*KAIST 바이오 및 뇌 공학과  
 jwahn@kaist.ac.kr (주저자 e-mail 주소)

테라헤르츠 파 광 기술의 발전에 따라 최근 테라헤르츠 이미징이 활발하게 연구되고 있다. 그러나 대부분의 이미지 기법은 래스터 스캔 방식(raster scan)을 바탕으로 하므로 이미지를 얻는 시간이 오래 걸리게 되어 실생활 응용에 커다란 제약이 되었다. 최근 W. L. Chan *et. al.* 은 압축 측정(compressed sensing)으로 불리는 새로운 이미지 기법을 테라헤르츠 이미징에 적용하여 래스터 스캔 방식에 비해 30% 정도 적은 파형만으로 이미지를 얻어내었으나 이 방식 역시 상당히 많은 파형 측정이 이루어져야 함에는 변함이 없었다.<sup>(1)</sup> 이에 우리는 테라헤르츠 펄스파가 갖는 광 대역을 결맞음 광학 컴퓨터(coherent optical computer)에 적용하여 측정해야 하는 파형의 개수를 획기적으로 단축하는 기법을 제시하며 또한 실험적으로 증명하였다.

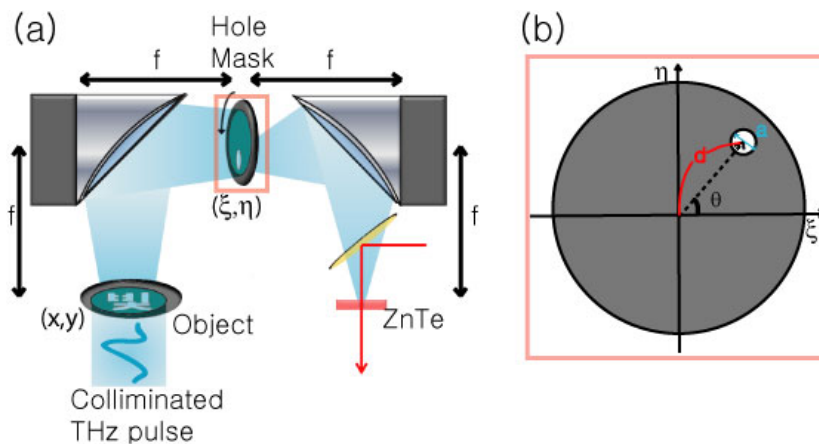


그림 1 (a) 테라헤르츠 결맞음 광학 컴퓨터 실험 장치 (b) 마스크의 기하학적 구조.

그림 1은 우리가 실험에 이용한 테라헤르츠 결맞음 광학 컴퓨터 실험 장치를 나타낸 그림이다. 결맞음 광학 컴퓨터란 렌즈나 파라볼라 거울 등을 이용하여 만들어지는 4-f 시스템에서 공간 주파수 평면상에 마스크나 필터 등을 둬으로써 이미지 평면에 도달하는 공간주파수 성분을 제한하여 이미지를 얻는데 이용하는 일련의 장치를 말한다.<sup>(2)</sup> 우리의 실험에서는 collimated 된 테라헤르츠 펄스 파가 측정하고자 하는 물체에 맞게 되고 파라볼라 거울을 지나 공간주파수 평면에 놓인  $\theta$  방향으로 중심으로부터  $d$ 만큼의 거리를 갖는 구멍이 뚫린 마스크에 의해 디텍터로 선택적으로 측정되게 된다. 이때 측정된 테라헤르츠 펄스 파는 시간 주파수  $\omega$  별로 분석이 될 수 있고 마스크에

뚫린 구멍의 크기가 충분히 작다고 근사하면 분석된 신호  $V(\omega, \theta)$ 는 다음과 같이 표현이 가능하다.

$$V(\omega, \theta) = C(\omega) \int dx dy U(x, y) e^{-i \frac{\omega d}{c f} (x \cos \theta + y \sin \theta)}$$

이때  $C(\omega)$ 는 테라헤르츠 펄스의 스펙트럼이 되며  $U(x, y)$ 는 이미징 하고자 하는 타겟이다. 따라서 식에서  $V(\omega, \theta)$ 를  $C(\omega)$ 로 나누어 주게 되면 측정되어진 시간 주파수 신호는 구멍의 방향인  $\theta$ 방향으로 투영된 이미지(projected image)의 푸리에 변환된 공간 주파수에 대응되게 된다.<sup>(3)</sup> 때문에 마스크를 돌려가며 측정하므로써 각각의  $\theta$ 방향으로 투영된 이미지들을 얻을 수 있고 잘 알려진 라돈 변환(Radon transformation)을 통해 원래의 이미지를 얻을 수 있다. 요컨대 오직 각도만을 돌려가며 2D 이미지를 얻을 수 있으므로 기존의 기법보다 훨씬 적은 파형 측정으로 부터 이미지를 복원할 수 있게 되는 것이다.

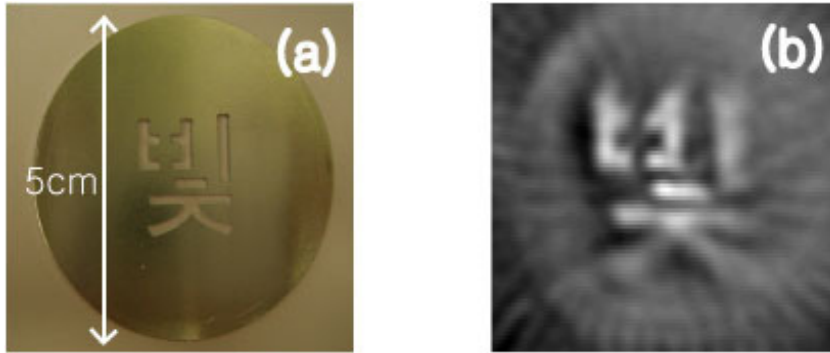


그림 2 (a) 이미지 과정에서 쓰인 타겟 (b) 마스크를 돌려가며 얻은 30개의 파형으로부터 얻어낸 이미지.

실험은 100MHz 반복율을 갖는 350mW 티타늄 사파이어 레이저 시스템을 통해 이루어졌다. 그림2의 (a)는 실험에 사용된 이미지 타겟이다. 마스크의 구멍은 중심에서 1.5 cm 떨어져 있으며 구멍의 크기는 5mm 이었다. 이미지를 복원하는 것은 180도를 6도씩 돌려가며 얻은 30개의 파형을 통해 이루어졌다. 그림2의 (b)는 복원해낸 이미지이다. 그림에서 보이는 것처럼 상당히 복잡한 이미지가 충분히 잘 인식이 될 정도로 복원이 됨을 알 수 있다. 게다가 압축측정(compressed sensing)기법을 이 기법에 접목 시킨다면 더욱 좋은 결과를 가져올 것으로 예상된다.

1. W. L. Chan, K. Charan, D. Takhar, K. F. Kelly, R. G. Baraniuk, and D. M. Mittleman, "A single-pixel terahertz imaging system based on compressed sensing", *Appl. Phys. Lett* 93, 121105 (2008).
2. E. Hecht, "OPTICS 4th ed.", Addison Wesley, 611-617 (2002).
3. O. K. Ersoy, "Diffraction, Fourier Optics and Imaging", Wiley-Interscience, 326-331 (2006).