

테라헤르츠파 기술 연구 동향 (II) - 테라헤르츠 영상 기술

Research Trends in THz Wave (II) - TeraHertz Imaging Technology

서대철, 김기복(한국표준과학연구원 안전측정센터)
 E-mail: kimkibok@kriss.re.kr

테라헤르츠파 영상은 테라헤르츠파의 응용 중에서도 가장 많이 연구되고 있는 기술로써 테라헤르츠 시간영역 분광법에 의한 스캐닝 방법, 전광 추출과 CCD를 이용하는 실시간 테라헤르츠 영상법, 고분해능을 가지는 고해상도 영상을 얻기 위한 근접장 영상 방법 등이 있다. 또한 2차원 영상뿐만 아니라 3차원 영상을 얻기 위한 THz 단층촬영기술 등도 활발히 연구되고 있다. 테라헤르츠파 영상의 장점은 아래와 같다[1-4].

- 가. 테라헤르츠파는 대부분의 비금속, 비극성 재료들을 투과하므로 포장박스, 의류, 신발, 가방 등의 물체 내부를 투과하여 내부의 물체를 탐지해 낼 수 있다.
- 나. 대부분의 물질들은 테라헤르츠 영역에서 독특한 흡수 스펙트럼을 갖기 때문에 테라헤르츠파 지문 인식을 통해 그 종류를 구별해 낼 수 있다.
- 다. 테라헤르츠파는 인체에 무해하기 때문에 스캔 대상이나 시스템 운영자에게 안전하다.

1. 테라헤르츠 영상 시스템 구성

현재 상업적으로 구입할 수 있는 대표적인 연속파(CW) 테라헤르츠파 발생원은 Gunn diode와 backward wave oscillator(BWO)를 들 수 있다. BWO를 이용하는 방법은 그 특성상 장치를 소형화하기 어렵기 때문에 비파괴검사 등과 같이 현장 적용성을 고려할 경우는 Gunn diode 방법이

주로 사용된다[5]. Gunn diode를 이용하는 방법은 테라헤르츠파 발생 및 검출 모두 전기적인 방법으로 이루어진다. 그림 1은 한국표준과학연구원 에서 개발된 CW 출력을 가지는 0.34 THz 영상 시스템의 테라헤르츠파 발생 및 수신 장치구성의 개념도를 나타낸다. 위상 잠금 된 PDRO (phase locked dielectric resonator oscillators)와 주파수 체배기를 이용하여 0.34 THz의 전자기파를 발생시키며 이를 쇼트키 다이오드로 검출하는 시스템이다. 그림 1(a)에서 Tx의 발전기에 의해 발생된 14.007 GHz의 초기 전자기파는 3배의 배율을 가진 RF 증폭기로 증폭된 후 몇 개의 주파수 체배기를 거치면서 최종 336.168 GHz (약 0.34 THz)의 전자기파가 된다. 이렇게 발생된 파장 약 0.9 mm의 0.34 THz파는 Tx와 같은 원리의 Rx에 의해 (그림 1(b)) 진폭과 위상에 대한 정보로 나눠져 Lock-In 증폭기로 읽어 들인 다음 그 데이터를 컴퓨터에 각각 저장하게 된다. Tx의 최대 출력은 17 mW이며, Rx의 믹서(Mixer) 변환손실은 10.5 dB이다. 0.34 THz의 고주파수를 안정하게 측정하기 위해 sub-harmonic mixer를 사용하여 168 MHz의 IF(intermediate frequency)로 변조하여 신호를 측정한다. 시스템의 동작범위는 94 dB이며 최대 104 dB까지 증가시킬 수 있다.

그림 2는 테라헤르츠 영상 시스템의 전체 구성도를 나타낸다. 물체의 비파괴검사를 위한 테라헤르츠 영상 시스템을 구현하기 위해서는 긴 이동거리와 빠른 속도를 필요로 한다. 이를 위해

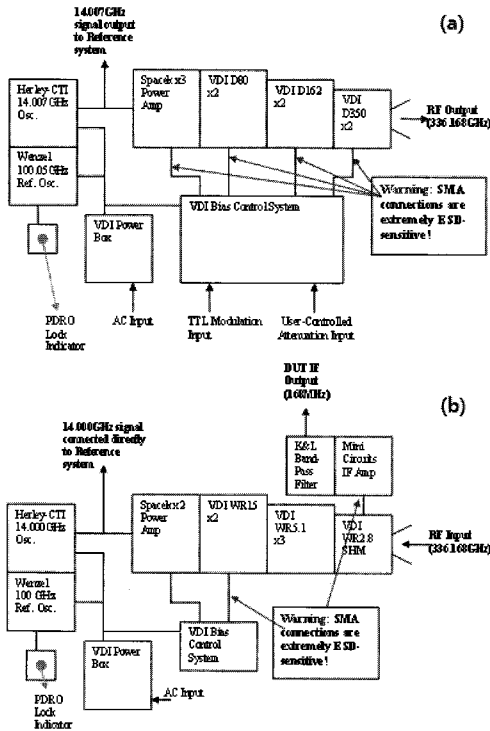


그림 1 THz파 송수신 개념도 (a) 테라헤르츠 송신부 (Tx) (b) 테라헤르츠 수신부 (Rx)

에 대한 테라헤르츠 영상을 취득한 결과는 다음과 같다.

2.1. 수분 함유량에 따른 나뭇잎의 영상 변화

테라헤르츠파는 수분에 대한 흡수가 강하기 때문에 수분의 함유량에 따른 생체 조직이나 세포의 변화를 쉽게 관찰할 수 있다. 조직 세포의 경우, 정상일 때와 암이 발생했을 때의 수분의 차이는 확연히 다른 차이를 나타낸다. 예를 들어 암이 발생한 조직 세포는 정상세포보다 많은 수분을 함유하고 있어 테라헤르츠파의 많은 흡수를 나타낼 수 있다. 그림 3은 수분을 함유한 잎의 테라헤르츠 영상을 나타내는 것으로서 잎의 수분이 많은 상태(3.10g)와 건조한 상태(12일 후, 1.13g)의 영상을 나타낸다. 그림과 같이 수분 함유량이 많고 적음에 따라 영상의 선명도가 크게 차이가 나므로 테라헤르츠파는 수분에 매우 민감한 반응을 보이는 것을 알 수 있다.

2.2. 은닉 위험물 검출

테라헤르츠파는 물과 금속을 제외한 거의 모든 물질을 투과할 수 있기 때문에 은닉 위험물 검출이 가능하다. 그림 3과 4는 동일한 물체에 대하여 종이상자의 덮개 유무에 따른 내부 물체를 영상으로 검출한 결과를 나타낸다. 그림 4와 5는 나무상자와 플라스틱 통 내부의 물체에 대한 테라헤르츠 영상을 나타내는 것으로서 포장재 내부

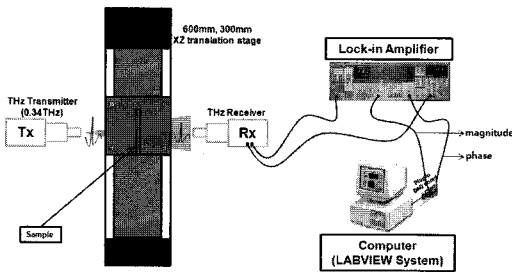


그림 2 CW THz 영상 시스템 개요도

Tx와 Rx 시스템 사이에 길이 600 mm, 최대 이동속도 500 mm/s를 가지는 수평 스테이지와 길이 300 mm, 400 N까지의 무게를 견딜 수 있는 수직 스테이지를 결합한 XZ translation stage를 설치하였으며 여기에 각각의 샘플들을 고정시켜 이동시킬 수 있다. 테라헤르츠 영상은 샘플을 point by point 방식으로 주사하여 얻을 수 있다.

2. 테라헤르츠 영상 취득

물체의 비파괴검사를 위한 테라헤르츠파 영상화 기술의 적용성 검토를 위해 금속, 세라믹, 플라스틱, 나뭇잎, 복합재료 등과 같은 다양한 재료

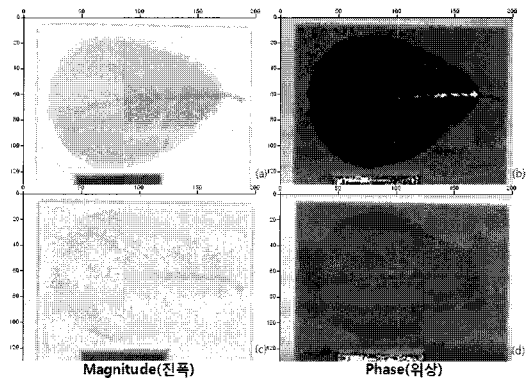


그림 3 잎의 수분함량에 따른 테라헤르츠 영상 변화. 수분함유량이 많은 경우의 잎의 (a) 진폭 영상 및 (b) 위상 영상. 건조한 경우(12일 경과) (c) 진폭 영상 및 (d) 위상 영상

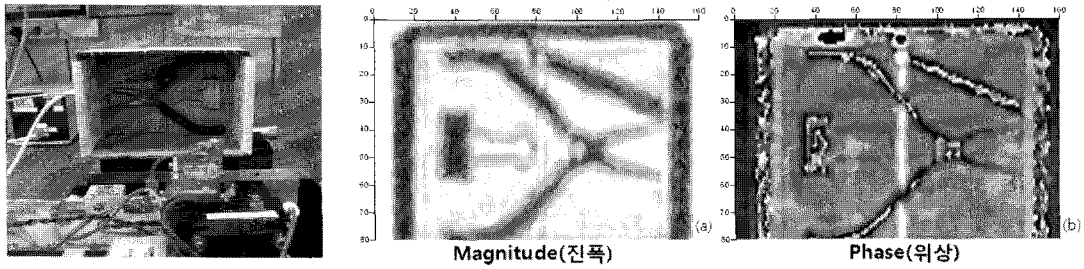


그림 4 덮개 없는 종이 박스 내부 물체의 테라헤르츠 영상

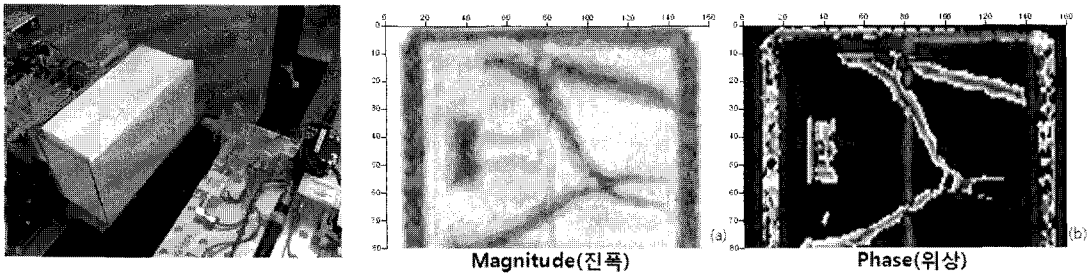


그림 5 덮개 있는 종이 박스 내부 물체의 테라헤르츠 영상

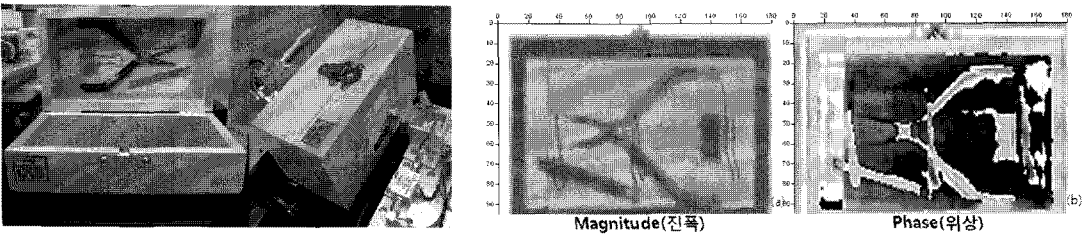


그림 6 나무상자 내부 물체에 대한 테라헤르츠 영상

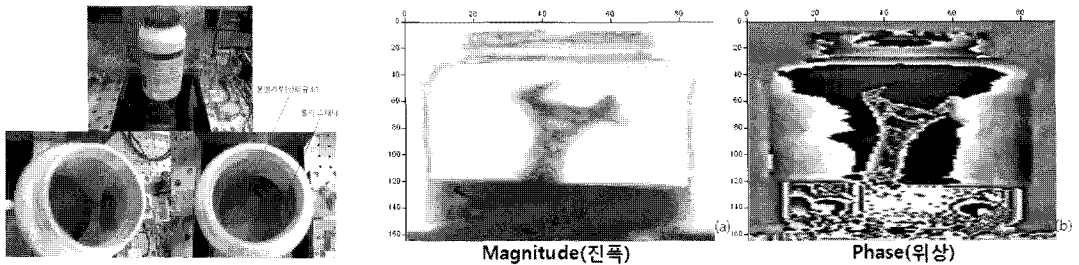


그림 7 플라스틱 용기 내부의 위험물 측정

의 물체를 명확하게 검출이 가능함을 보여준다. 테라헤르츠파는 종이, 플라스틱, 세라믹 등의 비금속 물체에 대한 투과성이 뛰어난 것을 보여주는 동시에 다양한 물질의 포장재 내부를 확인할 수 있는 유용한 도구임을 보여준다.

2.3. 복합재료의 테라헤르츠 투과 영상

복합재료는 기존의 금속재료에 비해 강성 및 강도가 높아 구조물의 경량화가 가능하고 섬유

배열 방향에 따른 이방성으로 인하여 항공 우주 산업, 스포츠 용품, 자동차 산업, 건축 기자재 등에 다양하게 응용되고 있다. 복합재료의 광범위한 응용에 따라 이에 대한 내부결함 및 내부 위험물을 검출하기 위한 비파괴검사에 대한 연구도 활발히 수행되고 있다. 현재, 복합재료의 결함 검출을 위한 검사법으로는 방사선투과검사와 초음파검사가 있으며, 전자는 특정 검사 시에 국한되어 사용되고 있으며 그 외의 검사에는 후자가 적용되는 것이 일반적이다. 그림 8~9는 발포재료,

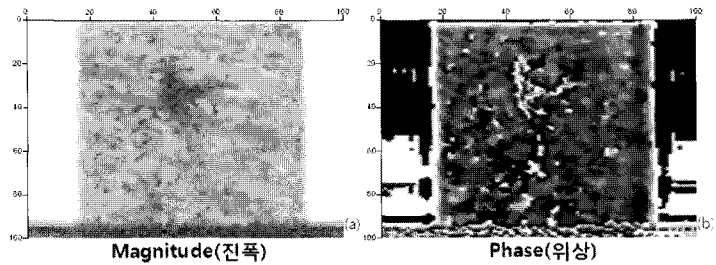
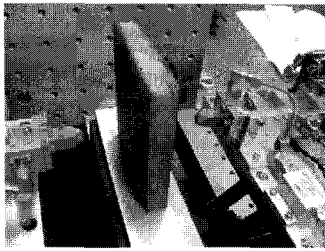


그림 8 복합재료(발포재료)의 테라헤르츠 투과 영상

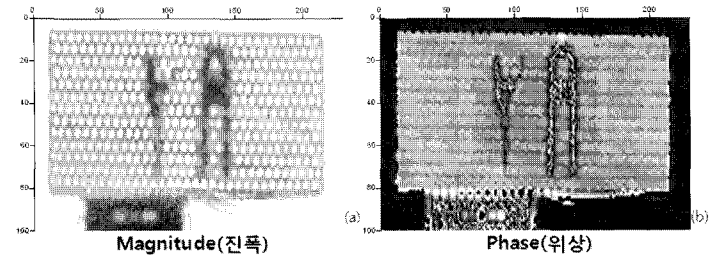
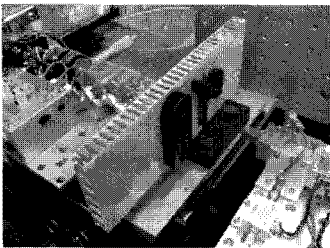


그림 9 복합재료(허니콤)의 테라헤르츠 투과 영상

허니콤 재료 등과 같은 복합재료에 대한 테라헤르츠 영상 실험 결과를 나타낸다. 복합재료의 두께가 두꺼울 경우 테라헤르츠파의 투과율은 매우 낮지만 비교적 얇은 두께의 복합재료는 투과가 가능함을 알 수 있으며 이 경우 테라헤르츠파를 이용하여 복합재료 내부의 결함 및 위험물 검출이 가능할 것으로 생각된다.

3. 맺음말

물질에 대한 투과성이 우수한 테라헤르츠파 영상을 이용할 경우 복합재료 검사 등과 같이 비파괴검사 분야의 응용이 가능하며 외국의 경우 관련 연구가 활발하게 수행되고 있다. 현재 개발된 소형 CW Sub-THz 이미징 시스템을 이용하여 현장형 비파괴 테라헤르츠 영상장치로서의 실용화가 가능하다고 생각된다. 이는 테라헤르츠 영상 시스템의 장치의 규모가 크고 비싸며 정교한 광학장치를 요구할 뿐만 아니라 영상취득 시간이 많이 소요되는 펄스형 테라헤르츠 영상 시스템에 비해 간단하고 소형이며, 빠르고 비용 면에서 상대적으로 저렴하다는 장점을 가지고 있다. 그러나 현장형 영상장치로서 당장의 실용화를 위해서는 규모나 비용, 속도 면에서 개선되어야 할 점이 있다. 현재 테라헤르츠 영상기술에 대한 국내 기술 수준은 선진국과 비교했을 때 많은 차이가

있으나 최근 이에 대한 연구가 활발하게 수행되고 있으며 지속적인 지원과 연구개발을 통하여 그 격차를 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] G. L. Carr, M. C. Martin, W. R. McKinney, K. Jordan, G. R. Neil and G. P. Williams, "High-power terahertz radiation from relativistic electrons," *Nature* 420, pp. 153-156 (2002)
- [2] R. Kohler, A. Tredicucci, F. Beltram, H. E. Beere, E. H. Linfield, A. G. Davies, D. A. Ritchie, R. C. Iotti and F. Rossi, "Terahertz semiconductor-heterostructure laser," *Nature* 417, pp. 156-159 (2002)
- [3] Q. Song, Y. Zhao, A. R. Sanchez, C. Zhang and X. Liu, "Fast continuous terahertz wave imaging system for security," *Opt. Comm.* Vol. 282(10), pp. 2019-2022 (2009)
- [4] M. Tonouchi, "Cutting-edge terahertz technology," *Nature Photonics* 1, pp. 97-105 (2007)
- [5] 진윤식, 전석기, 김정일, 김근주, 손채화, "테라헤르츠파 발생 및 응용연구", *물리학과 첨단기술*, 제16권, July/August. (2007)